

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας
Διευθυντής: Καθηγητής Σ.Ε.Σιμόπουλος

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΠΛΟΥ
ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ
ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ
ΘΑΛΑΜΟΥ ΙΟΝΙΣΜΟΥ**

**ASSEMBLY AND CALIBRATION OF A SIMPLE
ACTIVE RADON CONCENTRATION MONITOR
BASED ON THE IONIZATION CHAMBER
PRINCIPLE**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
ΔΗΜΟΥ-ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ ΣΤΕΡΓΙΟΥ

Σπουδαστή της Σχολής
Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επίβλεψη: Λέκτορας Ν.Π. Πετρόπουλος

ΑΘΗΝΑ 2010

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ΠΡΟ-1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ΠΕ-1
ABSTRACT	ABS-1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά	1-1
1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία του ανιχνευτικού συστήματος	1-4
1.3 Προσομοίωση ηλεκτρονικού κυκλώματος ανιχνευτή	1-4
1.4 Κατασκευή ανιχνευτικού συστήματος	1-5
1.5 Καταμέτρηση παλμών ιονισμού	1-5
1.6 Δοκιμές χρήσης και ενδεικτική βαθμονόμηση	1-6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1 Εισαγωγή	2-1
2.2 Αρχή λειτουργίας θαλάμων ιονισμού	2-1
2.3 Ανίχνευση Ραδονίου με θάλαμο ιονισμού BERM.....	2-4
2.4 Κυλινδρικός θάλαμος για τον ανιχνευτή BERM.....	2-5
2.5. Υψηλή τάση για τον ανιχνευτή BERM	2-6
2.6 Εκμετάλλευση σήματος από τον ανιχνευτή BERM	2-6
2.7 Περιγραφή του ηλεκτρονικού κυκλώματος	2-8
2.8 Ειδικά σχόλια για το ηλεκτρονικό κύκλωμα.....	2-12
2.9 Χρονική απόκριση του κυκλώματος και σημεία ελέγχου	2-13
2.10 Συμπεράσματα	2-14
Πίνακες του 2 ^{ου} Κεφαλαίου	2-15
Διαγράμματα του 2 ^{ου} Κεφαλαίου	2-18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ

3.1 Εισαγωγή	3-1
3.2 Βασικά στοιχεία του Multisim.....	3-1
3.3 Εικονική χάραξη του ανιχνευτικού κυκλώματος.....	3-3
3.4 Έλεγχος κυκλώματος με εικονικά όργανα.....	3-6
3.5 Προσομοίωση.....	3-8
3.5.1 Γενικά	3-8
3.5.2 Προσομοίωση παθητικής λειτουργίας.....	3-8
3.5.3 Προσομοίωση ενεργητικής λειτουργίας	3-11

3.6 Συμπεράσματα	3-13
Πίνακες του 3 ^{ου} Κεφαλαίου	3-15
Διαγράμματα του 3 ^{ου} Κεφαλαίου	3-16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Εισαγωγή	4-1
4.2 Βασικές κατασκευαστικές απαιτήσεις	4-1
4.3 Υλοποίηση θαλάμου ιονισμού BERM	4-3
4.4 Κατασκευή ηλεκτρονικού κυκλώματος	4-5
4.5 Σύνδεση θαλάμου ιονισμού και κυκλώματος	4-8
4.6 Προκαταρκτικός έλεγχος.....	4-10
4.7 Τροφοδοσία υψηλής τάσης	4-10
4.8 Κλωβός για θωράκιση από ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο	4-12
4.9 Τελική μορφή –Συμπεράσματα	4-13
Πίνακες του 4 ^{ου} Κεφαλαίου	4-15
Διαγράμματα του 4 ^{ου} Κεφαλαίου	4-16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΙΟΝΙΣΜΟΥ

5.1 Εισαγωγή	5-1
5.2 Επιλογή τεχνικής καταμέτρησης.....	5-1
5.3 Σύνδεση κάρτας ήχου στον Συγκριτή	5-5
5.4 Βασικά στοιχεία του LabVIEW.....	5-6
5.4.1 Γενικά	5-6
5.4.2 Εργασία στο LabVIEW	5-7
5.4.3 Σχεδίαση εικονικού οργάνου (VI).....	5-8
5.4.3.1 Γενικά	5-8
5.4.3.2 Κυριότερες συμβολικές δομές ελέγχου	5-9
5.4.3.3 Συμβολικές δομές ελέγχου επεξεργασίας σήματος	5-13
5.4.3.4 Έτοιμα παραδείγματα εικονικού οργάνου	5-14
5.4.4 Πρόσοψη εικονικού οργάνου	5-14
5.4.4.1 Γενικά	5-14
5.4.4.2 Δομές ελέγχου Πρόσοψης.....	5-15
5.5 Υλοποίηση καταμετρητή BERM σε LabVIEW	5-16
5.5.1 Διάγραμμα Δομών Ελέγχου Continuous Sound Input	5-16
5.5.2 Τροποποίηση του διαγράμματος Continuous Sound Input.....	5-18
5.5.3 Πρόσοψη εικονικού οργάνου	5-25

5.6 Σχόλια - Συμπεράσματα	5-29
Πίνακες του 5 ^{ου} Κεφαλαίου	5-31
Διαγράμματα του 5 ^{ου} Κεφαλαίου	5-32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΟΚΙΜΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

6.1 Εισαγωγή	6-1
6.2 Οδηγίες χρήσης και ασφαλείας	6-1
6.3 Πειράματα με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο.....	6-4
6.3.1 Πείραμα σε χώρο κατοικίας	6-4
6.3.2 Πείραμα σε υπόγειο χώρο	6-4
6.4 Ενδεικτική βαθμονόμηση του Δοκιμαστικού Πρωτοτύπου	6-5
6.4.1 Συντελεστής βαθμονόμησης και χρόνος ολοκλήρωσης	6-5
6.4.2 Εφαρμογή βαθμονόμησης	6-7
6.5 Πείραμα με το Οριστικό Πρωτότυπο.....	6-8
6.6 Σχόλια - Συμπεράσματα	6-9
Πίνακες του 6 ^{ου} Κεφαλαίου	6-13
Διαγράμματα του 6 ^{ου} Κεφαλαίου	6-14

ΕΠΙΛΟΓΟΣ	E-1
-----------------------	------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	B-1
---------------------------	------------

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το Ραδόνιο-222 είναι το βαρύτερο γνωστό αέριο στη φύση με ατομικό αριθμό 86, το οποίο επιπλέον είναι ευγενές και χημικά αδρανές. Το Ραδόνιο-222 παράγεται από την φυσικώς ραδιενεργή σειρά του Ουρανίου-238 και ονομάζεται συνήθως απλά Ραδόνιο. Παρόλη τη χημική του αδράνεια το Ραδόνιο είναι ραδιενεργό και διασπάται προς άλλα ισότοπα εκπέμποντας α σωματίδια. Δεδομένου ότι το Ουράνιο-238 είναι στερεό μέταλλο που συναντάται στο έδαφος, γίνεται αντιληπτό, ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Ραδονίου βρίσκονται στο εδαφικό αέριο. Συγκεντρώσεις Ραδονίου απαντώνται επίσης στο νερό των πηγών και στον ελεύθερο ατμοσφαιρικό αέρα. Στον ελεύθερο ατμοσφαιρικό αέρα η συγκέντρωση μπορεί να κυμαίνεται στην περιοχή $0 - 10 \text{ Bq m}^{-3}$. Στον ατμοσφαιρικό αέρα των εσωτερικών χώρων η συγκέντρωση του υπόψιν αερίου είναι πολύ πιο αυξημένη διότι όπως είναι φυσικό ο ρυθμός ανανέωσης είναι χαμηλός και το Ραδόνιο εισέρχεται συνεχώς από το εδαφικό αέριο γύρω από τα θεμέλια των χώρων με τη βοήθεια διαδικασιών διάχυσης ή μεταφοράς. Από ραδιενεργή άποψη το Ραδόνιο, διασπώμενο εκπέμπει α σωματίδια σχετικά μεγάλης ενέργειας - περί τα 5.5 MeV και ταυτόχρονα παράγει επίσης ραδιενεργά στερεά θυγατρικά που διασπώνται και αυτά εκπέμποντας α σωματίδια. Αν υπάρχει Ραδόνιο στον εσωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα τότε τα εκπεμπόμενα α σωματίδια από το εισπνεόμενο Ραδόνιο και τα θυγατρικά του, δυνατόν να δημιουργήσουν τραύματα στον εσωτερικό μαλακό ιστό του πνεύμονα, τα οποία έχουν σοβαρές πιθανότητες αν επαναλαμβάνονται συχνά με τον ίδιο τρόπο στο ίδιο ή κοντινό σημείο να οδηγήσουν σε καρκίνο. Δεδομένης της επικινδυνότητας που παρουσιάζουν το Ραδόνιο και τα θυγατρικά του για τον άνθρωπο, επιβάλλεται η μέτρηση της συγκέντρωσης του Ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους κατ' αρχήν των κατοικιών και κατά δεύτερο λόγο στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων στα οποία συναθροίζονται μαζικά άνθρωποι, είτε για εργασία είτε για άλλους λόγους (π.χ. εκπαίδευση, νοσηλεία κ.α.). Απαιτούνται για αυτό το σκοπό: τεχνικές και πρωτόκολλα μετρήσεων της συγκέντρωσης του Ραδονίου που να πληροφορούν για την επικρατούσα συγκέντρωση Ραδονίου κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Το διάστημα 1965 - 1980, αναπτύχθηκαν μέθοδοι για την μέτρηση της συγκέντρωσης του Ραδονίου στον εσωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Οι πιο ακριβείς μέθοδοι διαπιστώθηκε ότι ήταν οι ενεργητικές, όπως π.χ. οι ανοιχτοί θάλαμοι ιονισμού. Οι ενεργητικές μέθοδοι δεν έχουν αποκλειστικά πεδία εφαρμογής και δίνουν τη συγκέντρωση του Ραδονίου σχεδόν σε πραγματικό χρόνο δηλ. συνήθως ανά 10 min αλλά γενικά απαιτούν ακριβό εξοπλισμό, πηγές ενέργειας, διαρκή ανθρώπινη επιτήρηση, τακτική συντήρηση και κατά συνέπεια έχουν υψηλό κόστος όταν

χρησιμοποιούνται σε επαγγελματικό επίπεδο. Παρόλαυτά, σε ερασιτεχνικό επίπεδο μπορούν να κατασκευαστούν απλοί ενεργητικοί ανιχνευτές με βάση την αρχή του θαλάμου ιονισμού, οι οποίοι να ανιχνεύουν την παρουσία ραδονίου σε αυξημένες συγκεντρώσεις και να μετρούν με ικανοποιητική ακρίβεια τις συγκεντρώσεις αυτές. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, θα παρουσιαστεί η κατασκευή ενός τέτοιου απλού ενεργητικού ανιχνευτή, ο οποίος επιπλέον θα βαθμονομηθεί για την ανίχνευση ορισμένων τυπικών συγκεντρώσεων Ραδονίου στον αέρα του περιβάλλοντος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Λέκτορα κ. Ν.Π. Πετρόπουλο για τη βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας και ειδικά για τη συμβολή του στη διαμόρφωση του τελικού κειμένου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Διευθυντές του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας τα έτη 2009 και 2010, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ε.Π. Χίνη και τον Καθηγητή Σ.Ε. Σιμόπουλο αντίστοιχα για τη διάθεση αναγκαίων μικροποσών για δαπάνες προκειμένου για την πραγματοποίηση των αναγκαίων πειραμάτων και το προσωπικό του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας για τη τεχνική βοήθεια και την συμπαράστασή τους, όπου χρειάσθηκε.

Ειδικές ευχαριστίες οφείλονται επιπλέον, στους Paul Neher, Dr. Ed Cheung και Dr. Tony DiMauro οι οποίοι είχαν την ευγενική καλοσύνη να συνδράμουν στην υλοποίηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, παρέχοντας την δικιά τους εμπειρία σχετικά με την πρωτότυπη κατασκευή του ανιχνευτή Ραδονίου που παρουσιάζεται και δοκιμάζεται σε αυτήν την Διπλωματική Εργασία. Οι ευχαριστίες αυτές επεκτείνονται και στους κ. Χρήστο Κοσμά και Αναστάσιο Θεωδορόπουλο για την βοήθειά τους στον εντοπισμό των ηλεκτρολογικών υλικών καθώς επίσης και για την υπομονή που επέδειξαν στις άπειρες ερωτήσεις μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Πετρόπουλο ο οποίος μοιράστηκε απλόχερα την πολύχρονη εμπειρία του στον χώρο των αναλογικών ηλεκτρονικών. Υπήρξε μια ανεξάντλητη πηγή ηλεκτρονικών γνώσεων και ένα χέρι βοήθειας στα τεχνικά κωλύματα που αντιμετωπίστηκαν. Χάριν στην δική του συνεισφορά, το τεχνικό μέρος αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, ξεπέρασε τις ερασιτεχνικές μου δυνατότητες.

Πρέπει να τονισθεί, ότι χωρίς τη συμβολή των παραπάνω δεν θα ήταν δυνατή η εύκολη υλοποίηση σημαντικού τμήματος αυτής της Διπλωματικής Εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΠΛΟΥ
ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ
ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ
ΙΟΝΙΣΜΟΥ

Διπλωματική Εργασία του Στ. Δήμου-Σακελλαρίου

Σε αυτήν την Διπλωματική Εργασία εξετάζεται το σχέδιο, η κατασκευή, η βαθμονόμηση και η χρήση ενός απλού, οικονομικού ενεργητικού ανιχνευτικού συστήματος συγκεντρώσεων Ραδονίου, το οποίο μάλιστα μπορεί να κατασκευασθεί σχετικά εύκολα και σε ερασιτεχνικό επίπεδο. Το ανιχνευτικό αυτό σύστημα ονομάζεται για ευκολία BERM από τα αρχικά της φράσεως "Beverage can Enviromental Radon Monitor". Ο λόγος για αυτήν την ονομασία είναι ότι ο θάλαμος ιονισμού ο οποίος χρησιμοποιείται ως ανιχνευτής του συστήματος βασίζεται σε κυλινδρικό κουτάκι αλουμινίου από αναψυκτικό. Πέρα από τον ανιχνευτή, το σύστημα αποτελείται από ενισχυτικό ηλεκτρονικό κύκλωμα, τροφοδοτικό ηλεκτρονικό κύκλωμα για την αναγκαία υψηλή τάση καθώς και σύστημα καταμετρήσεως παλμών που οφείλονται στις ραδιενεργές διασπάσεις του Ραδονίου. Το ανιχνευτικό σύστημα BERM παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Paul Neher στο περιοδικό ερασιτεχνικής ηλεκτρονικής "Electronics Now" τον Ιανουάριο του 1994. Από τότε έχει υλοποιηθεί αρκετές φορές και από άλλους ερασιτέχνες, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η παρούσα υλοποίηση έγινε στα πλαίσια του γνωστικού αντικειμένου του μαθήματος "Πυρηνικά Μετρητικά Συστήματα" του 8^{ου} εξαμήνου της Σχολής Μηχανολόγων-Μηχανικών του ΕΜΠ, με σκοπό να δείξει τις απλές αρχές μέτρησεις που μπορούν να εφαρμόζονται σε ένα σύγχρονο πρόβλημα προστασίας από την ραδιενέργεια, όπως είναι το πρόβλημα της ανίχνευσης συγκεντρώσεων Ραδονίου στον αέρα του περιβάλλοντος. Με βάση την κατασκευή που υλοποιήθηκε μπορεί κάποιος να πεί ότι το ανιχνευτικό σύστημα BERM ακόμα και χωρίς βαθμονόμηση, φαίνεται να είναι ικανό να δίνει προειδοποίηση αν οι συγκεντρώσεις του Ραδονίου σε έναν χώρο είναι υψηλές. Επιπλέον, με την κατάλληλη βαθμονόμηση μπορεί να συγκριθεί σε αποτελεσματικότητα και ακρίβεια με ορισμένα από τα απλά ενεργητικά ανιχνευτικά συστήματα του εμπορίου, τα οποία έχουν πολύ υψηλότερο κόστος. Η κατασκευή του BERM απέδειξε επομένως ότι με πολύ μικρό κόστος μπορεί να υλοποιηθεί ένα απλό ανιχνευτικό σύστημα ραδιενέργειας, χρησιμοποιώντας υλικά άμεσα διαθέσιμα στο ελεύθερο εμπόριο. Σημειώνεται επίσης, ότι για την κατασκευή αυτή, δεν απαιτήθηκε

η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων, πέρα βέβαια από έναν συμβατικό παλμογράφο και ενός ψηφιακού πολυμέτρου.

ABSTRACT

**ASSEMBLY AND CALIBRATION OF A SIMPLE ACTIVE
RADON CONCENTRATION MONITOR BASED ON THE
IONIZATION CHAMBER PRINCIPLE**

Diploma Dissertation by St. Dimou-Sakellariou

This Diploma Dissertation discusses the design, assembly, calibration and operation of a simple, cost-effective, active Radon concentration monitor, which can be built relatively easy even on an amateur level. This monitoring system will be called BERM, from the abbreviation of the phrase "Beverage can Environmental Radon Monitor". The reason behind the selection of this name, is that the ionization chamber used as detector is based on a cylindrical aluminum can, similar to those used to hold beverage or beer. Apart from the detector, the system consists of an amplifying circuit, a high voltage power supply circuit and an electronic pulse-rate counting circuit, which collects and records the pulses created by the radioactive decay of Radon and its progeny. The BERM monitoring system was first presented by Paul Neher in the popular electronics magazine "Electronics Now", published in January 1994. Since then, it has been realised by other electronics enthusiasts with satisfactory results. The present construction has been performed within the context of the lesson "Nuclear Monitoring Systems" given in the 8th semester of Mechanical Engineering School of NTUA, in order to show the simple principles of monitoring which can be implemented in a modern radiation protection problem, such as the problem of detecting Radon in the environmental air. Based on the construction of this detection unit, it can be said that BERM, even without proper calibration, can provide warning for high Radon concentrations. Furthermore, with proper calibration, it can provide results with accuracy comparable to the more expensive, commercial active monitoring systems. Thus, BERM construction has proven that a very low-cost, simple radiation detection unit can be built with materials readily available. It has to be pointed out that, for this construction, no use of sophisticated equipment is required, other than a conventional oscilloscope and a digital polypmeter.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το Ραδόνιο (^{222}Rn ή Rn-222) είναι ένα φυσικώς ραδιενεργό αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο, ανήκει στην ομάδα των ευγενών αερίων - και ως εκ τούτου είναι χημικά αδρανές-, το οποίο προέρχεται από τη διάσπαση του Ραδίου (^{226}Ra) που υπάρχει στο έδαφος και τα πετρώματα της γης. Επειδή είναι αδρανές και δεν αλληλεπιδρά χημικά με τα άλλα στοιχεία, από τη στιγμή που παράγεται, διαφεύγει από τους πόρους και τις ρωγμές των πετρωμάτων και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα όπου διαχέεται γρήγορα. Το Ραδόνιο εισέρχεται έτσι σε κλειστούς χώρους όπως ορυχεία, σπίτια, σχολεία και χώρους εργασίας όπου και συγκεντρώνεται. Μάλιστα, οι συγκεντρώσεις του αυτές μπορεί να είναι υψηλές, ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής καθώς επίσης και με τις συνθήκες εξαερισμού του χώρου. Συνήθως στο εσωτερικό των σπιτιών η συγκέντρωσή του είναι 10 φορές μεγαλύτερη από ό,τι στον εξωτερικό αέρα, στον οποίο η συγκέντρωσή του βρίσκεται στα επίπεδα μεταξύ 0 και 10 Bq m^{-3} . Όταν το Ραδόνιο διασπάται, απελευθερώνει -α σωματίδια ενέργειας 5.5 MeV . Αν και αυτή είναι μεγάλη ποσότητα ενέργειας, τα -α σωματίδια δεν είναι ικανά να ταξιδεύσουν πέρα από περίπου 4 cm στον αέρα πριν αποδώσουν την ενέργειά τους σε ιονισμούς των μορίων του αέρα. Ένα κομμάτι χαρτί ή ακόμα και το ανθρώπινο δέρμα είναι αρκετά παχιά ώστε να σταματήσει τα -α σωματίδια.

Η άμεση έκθεση στο Ραδόνιο, αντίθετα από την άμεση έκθεση στα σωματίδια β, τα φωτόνια δεν αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για τους ανθρώπους. Παρόλα αυτά το Ραδόνιο απειλεί την υγεία έμμεσα. Όντας αέριο, υπάρχει συνήθως στον ατμοσφαιρικό αέρα και καθώς ο άνθρωπος αναπνέει, το Ραδόνιο και τα επίσης ραδιενεργά στερεά θυγατρικά του εισέρχονται και εναποτίθενται στους πνεύμονές του και επομένως τους ακτινοβολούν. Τα υψηλής ενέργειας -α σωματίδια του Ραδονίου και των θυγατρικών του μπορούν να προκαλέσουν χρωμοσωμική ζημία στα λεπτά στρώματα του πνευμονικού ιστού. Η ζημιά αυτή είναι μια πιθανή αιτία καρκίνου του πνεύμονα, ειδικά όταν συνδυάζεται με την επιβάρυνση των πνευμόνων λόγω καπνίσματος.

Το μεγαλύτερο μέρος του Ραδονίου όπως εισπνέεται εκπνέεται άμεσα και κατά πολύ μικρό ποσοστό εισέρχεται στην κυκλοφορία του αίματος. Επομένως η ακτινοβολήση από τα -α σωματίδια που εκπέμπει το ίδιο το Ραδόνιο κάνει περιορισμένη και μάλλον μη ανιχνεύσιμη ζημία. Εντούτοις, τα βραχύβια θυγατρικά του όπως το ^{218}Po και το ^{214}Po που έχουν αποτεθεί στις αναπνευστικές οδούς, είναι

πιθανότερο να εκπέμπουν –α σωματίδια, τα οποία είναι σε θέση να προσβάλουν τον ευαίσθητο ανθρώπινο ιστό. Τα –α σωματίδια, τα οποία προέρχονται από την διάσπαση του ^{218}Po και του ^{214}Po έχουν ενέργεια 6.0 και 7.7MeV αντίστοιχα. Η επιστημονική κοινότητα θεωρεί ότι αυτά τα στερεά θυγατρικά, λόγω της απόθεσής τους και της προσκόλλησής τους στους ιστούς της αναπνευστικής οδού είναι οι κύριοι παράγοντες υπεύθυνοι για την πρόκληση καρκίνου του πνεύμονα σε περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση του Ραδονίου υπερβαίνει κάποια ορισμένα επίπεδα.

Το Ραδόνιο αποτελεί συστατικό του αέρα από την γέννηση του πλανήτη μας. Παρόλαυτά ο άνθρωπος μπόρεσε να αναγνωρίσει την ύπαρξή του μόνο όταν αναπτύχθηκαν τα όργανα, τα οποία μπορούσαν να το ανιχνεύσουν και να το μετρήσουν. Η παρουσία του είναι αιτία ανησυχίας λόγω των μελετών που αποδεικνύουν την συσχέτιση υψηλών συγκεντρώσεων και καρκίνου του πνεύμονα. Η συγκέντρωση του Ραδονίου στον ελεύθερο ατμοσφαιρικό αέρα είναι κατά καν'ονα πολύ χαμηλή στην περιοχή του 0.1% της συγκέντρωσής του στο αέριο του εδάφους και είναι ακίνδυνη. Η συγκέντρωση αυξάνει σημαντικά στον ατμοσφαιρικό αέρα κλειστών χώρων και μάλιστα γίνεται τόσο μεγαλύτερη όσο πλησιέστερα είναι αυτοί οι χώροι στο έδαφος. Οι συγκεντρώσεις Ραδονίου μετρώνται με τη χρήση κατάλληλων μετρητικών διατάξεων. Αν τοποθετηθεί μία τέτοια διάταξη μέσα σε έναν ανεστραμμένο κουβά ακουμπισμένο στην επιφάνεια του εδάφους, το Ραδόνιο που διαχέεται από το έδαφος παγιδεύεται μέσα στον κάδο μέχρις ότου επιτυγχάνεται μια συνθήκη ισορροπίας. Η μετρητική διάταξη θα δείξει ενδεχομένως μια συγκέντρωση Ραδονίου η οποία θα είναι αρκετές τάξεις υψηλότερη από αυτή στον ατμοσφαιρικό αέρα, αλλά μικρότερη από την συγκέντρωση στο αέριο του εδάφους. Μία κατοικία με θεμέλια, τοίχους, πατώματα και οροφή μπορεί να είναι θεωρηθεί γεωμετρία ανάλογη με τον κουβά. Η κατοικία παγιδεύει με τον ίδιο τρόπο Ραδόνιο που διαχέεται από το έδαφος προς τον εσωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα, ειδικά εάν όλες οι θύρες και τα παράθυρα της κατοικίας σπιτιού είναι κλειστά. Υπό αυτές τις συνθήκες η συγκέντρωση του Ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να είναι 10 έως 100 φορές υψηλότερη από την συγκέντρωση σε εξωτερικούς χώρους. Οι άνθρωποι στις αναπτυσσόμενες χώρες ξοδεύουν χαρακτηριστικά μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους στο εσωτερικό κτιρίων, στην εργασία, στο σχολείο ή στο σπίτι, και δυνητικά εκτίθενται σε συγκεντρώσεις Ραδονίου που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αρκετά υψηλές ώστε να έχουν συνέπειες στην υγεία. Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) των Η.Π.Α. συστήνει ότι αν η συγκέντρωση Ραδονίου μέσα σε μία κατοικία δεν υπερβαίνει τα 150 Bq m^{-3} δεν φαίνεται να υπάρχουν συνέπειες στην υγεία. Η EPA έχει επιπλέον εκδώσει οδηγίες με συγκεκριμένα μέτρα, τα οποία

συστείνεται να λαμβάνονται όπου υπάρχουν πιο υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης. Εκτιμάται από την ίδια υπηρεσία ότι Ραδονίου 1000 Bqm^{-3} εγκυμονεί τον ίδιο σχεδόν σωρευτικό κίνδυνο για καρκίνο του πνεύμονα, όπως το κάπνισμα δύο πακέτων τσιγάρων την ημέρα.

Στο εμπόριο υπάρχουν διαθέσιμες πολλές μετρητικές διατάξεις για την μελέτη της συγκέντρωσης του Ραδονίου στον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι περισσότερες από αυτές είναι παθητικοί ανιχνευτές μικρού κόστους, δηλαδή δεν απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία με ισχύ και ανθρώπινη επιτήρηση. Παραδείγματα τέτοιων ανιχνευτών είναι τα δοχεία ενεργού άνθρακα καθώς και οι ανιχνευτές ιχνών. Αυτοί οι ανιχνευτές εκτίθενται στον αέρα εσωτερικών χώρων σύμφωνα με συγκεκριμένο πρωτόκολλο επί μεγάλο χρονικό διάστημα. Μετά από την έκθεση, στέλνονται προς εργαστηριακή ανάλυση, ο τρόπος και τα χαρακτηριστικά της οποίας δεν χρειάζεται να αναφερθούν εδώ. Το κύριο μειονέκτημα στους παθητικούς ανιχνευτές είναι ότι μετρούν τη συγκέντρωση Ραδονίου ολοκληρωτικά μόνο σε μια συγκεκριμένη θέση για μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Επειδή υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα συγκέντρωσης Ραδονίου μια τέτοιου είδους κατά μέσο όρο μοναδική εκτίμηση της συγκέντρωσης είναι πιθανό να περιλαμβάνει σημαντικό σφάλμα. Για παράδειγμα τα ποσά ανανέωσης αέρα και ο τύπος του συστήματος θέρμανσης και ψύξης μίας κατοικίας μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες χρονικές διακυμάνσεις στην συγκέντρωση του Ραδονίου λόγω των διάφορων τρόπων με τους οποίους εισάγεται, κυκλοφορεί και απάγεται ο αέρας. Ως εκ τούτου για να αποφεύγονται τέτοιες απώλειες πληροφοριών συνιστάται η χρήση ενεργητικών ανιχνευτών οι οποίοι έχουν πολλαπλάσιο –φυσικά– κόστος από τους παθητικούς αλλά μπορούν να καταγράφουν την συγκέντρωση του Ραδονίου συνεχώς.

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η κατασκευή και βαθμονόμηση ενός απλού ενεργητικού ανιχνευτή συγκεντρώσεων Ραδονίου με βάση την αρχή του θαλάμου ιονισμού. Η κατασκευή στηρίχθηκε στο απλό ηλεκτρονικό κύκλωμα που δημοσιεύθηκε από τον Neher (1994a) και στόχος της ήταν να χρησιμοποιήσει βασικές ηλεκτρονικές αρχές και υλικά καθημερινής χρήσης. Σε αυτό το πλαίσιο ο θάλαμος ιονισμού της υλοποίησης αποτελείται από μία μεταλλική κυλινδρική συσκευασία τροφοίμων, το ηλεκτρονικό κύκλωμα συγκροτείται πάνω σε μία πλακέτα γενικών κατασκευών ενώ η καταγραφή των παλμών από τους ιονισμούς γίνεται μέσω διασύνδεσης με Η/Υ. Η Διπλωματική Εργασία διαιρείται στα ακόλουθα διακριτά μέρη: (α) την παρουσίαση και θεωρητική ανάλυση των κατασκευαστικών στοιχείων του ανιχνευτικού συστήματος ως σύνολο, (β) την προσομοίωση του ηλεκτρονικού κυκλώματος ανιχνευτικού συστήματος με ιδιαίτερη βάση στην ανάλυση της συμπεριφοράς του ηλεκτρονικού κυκλώματος, (γ) την πρακτική

περιγραφή της κατασκευής του ανιχνευτικού συστήματος, (δ) την σύνδεση του ανιχνευτικού συστήματος απευθείας με Η/Υ προκειμένου για την ανάγνωση και καταμέτρηση των παλμών ιονισμού και (ε) την δοκιμαστική χρήση και ενδεικτική βαθμονόμηση του ανιχνευτικού συστήματος.

Ο ανιχνευτής Ραδονίου που υλοποιείται εδώ έχει πολλά από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ακριβών ενεργητικών ανιχνευτών, σε μια πολύ χαμηλότερη τιμή. Ακόμη και χωρίς ακριβή βαθμονόμηση μπορεί να παράγει σχετική ένδειξη, η οποία συγκρινόμενη με την ένδειξη στον εξωτερικό αέρα της υπαίθρου δείχνει με σαφήνεια αν υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις Ραδονίου. Επομένως μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει τον ανιχνευτή αυτόν για να εντοπίσει έναν χώρο που είναι σχετικά "χειρότερος" από άλλους από την άποψη των επιπέδων συγκέντρωσης Ραδονίου.

1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία του ανιχνευτικού συστήματος

Στο 2^ο Κεφάλαιο της Διπλωματικής περιγράφονται τα βασικότερα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του ανιχνευτή και του αναγκαίου ηλεκτρονικού κυκλώματος. Για την πληρέστερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της ανιχνευτικής διάταξης, αναφέρεται κατ' αρχήν η βασική αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών ιονισμού. Στη συνέχεια εξηγείται με ποιο τρόπο –α σωματίδια που παράγονται από τις διασπάσεις του Ραδονίου μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το αέριο του θαλάμου και να οδηγήσουν στην παραγωγή ηλεκτρικού σήματος. Επιλέγεται, με δικαιολόγηση, ο καταρχήν κατάλληλος κυλινδρικός θάλαμος για τον ανιχνευτή με βάση διαθέσιμες μεταλλικές κυλινδρικές συσκευασίες τροφίμων από το εμπόριο. Αναλύονται σχεδόν όλα τα σημεία του ηλεκτρονικού κυκλώματος που απαιτείται για την εκμετάλλευση των παραγόμενων ηλεκτρικών σημάτων από τον ανιχνευτή και εξετάζεται η απαίτηση ότι το ηλεκτρονικό κύκλωμα θα πρέπει να ενισχύει κατάλληλα τα ηλεκτρικά σήματα που αποδίδει ο θάλαμος και να τα διαχωρίζει από τον θόρυβο. Τέλος, επισημαίνονται στα κατάλληλα σημεία και μερικές άλλες απαιτήσεις, οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται από το κύκλωμα, όπως η εξασφάλιση υψηλής διαφοράς δυναμικού 500 V μεταξύ των ηλεκτροδίων του θαλάμου και κατάλληλης τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος, και προτείνονται λύσεις για την επίτευξή τους.

1.3 Προσομοίωση ηλεκτρονικού κυκλώματος ανιχνευτή

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται μία λεπτομερής προσομοίωση της λειτουργίας του ηλεκτρονικού κυκλώματος του ανιχνευτικού συστήματος, προκειμένου να διαπιστωθεί (α) ότι η συμπεριφορά του είναι σταθερή και αναμενόμενη όπως περιγράφεται από τον Neher (1994a), (β) ότι στα σημεία ελέγχου του κυκλώματος

αναγνωρίζονται οι προβλεπόμενες τάσεις ή τα προβλεπόμενα σήματα και τέλος (γ) ότι μία προσομοίωση αλληλεπίδρασης τύπου ιονισμού στον ακροδέκτη G του JFET (κύκλωμα τρανζίστορ που παραλαμβάνει τους παλμούς από το θάλαμο ιονισμού) θα οδηγήσει στην αναμενόμενη ενίσχυση του παραγόμενου παλμού τάσης και στον επιτυχή διαχωρισμό του από τον θόρυβο. Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του ανιχνευτικού συστήματος, χρησιμοποιείται το παραθυρικό σχεδιαστικό πακέτο της National Instruments, NI Multisim 10.0.1 Student Edition. Το πακέτο αυτό προσφέρει την δυνατότητα ηλεκτρονικής σχεδίασης κυκλωμάτων καθώς και προσομοίωσης της λειτουργίας τους.

1.4 Κατασκευή ανιχνευτικού συστήματος

Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η υλοποίηση της κατασκευής του θαλάμου ιονισμού και του ηλεκτρονικού κυκλώματός του, με βάση τα θεωρητικά και τα κατασκευαστικά στοιχεία και τα συμπεράσματα που παρουσιάσθηκαν και συγκεντρώθηκαν στα προηγούμενα δύο Κεφάλαια, στην υλοποίηση που παρουσίασε ο Neher (1994a,b,c) και σε προσωπικές οδηγίες από τον Neher (2009). Ιστορικά αναφέρεται ότι την υλοποίηση του Neher (1994a) πραγματοποίησαν επίσης ο Cheung (1995) και ο DiMauro (βλ. δικτυακό σύνδεσμο στη βιβλιογραφία). Οι υλοποιήσεις αυτές, όπως εξάλλου και η παρούσα, δεν διεκδικούν ποιότητα αντίστοιχη των επαγγελματικών ανιχνευτών ραδονίου και παραμένουν σε μάλλον ερασιτεχνικό επίπεδο. Παρόλαυτά, οι προηγούμενες υλοποιήσεις παρείχαν συστηματικά αποτελέσματα μετρήσεων ραδονίου. Η παρούσα υλοποίηση αξιολόγησε σε σημαντικό βαθμό τις παρατηρήσεις από την κατασκευή του Neher (1994a,b,c) και με γνώμονα την ευκολότερη κατασκευή και το λειτουργικότερο τελικό προϊόν, κατευθύνθηκε προς την ανθεκτικότερη κατασκευή με περιορισμό των κατασκευαστικών αδυναμιών των προηγούμενων προσεγγίσεων και προς τη συνδεσιμότητα με Η/Υ για την απευθείας real-time on-line καταγραφή και αποθήκευση των μετρητικών αποτελεσμάτων συγκέντρωσης Ραδονίου. Σημειώνεται ότι για την παρούσα υλοποίηση υπήρξαν ενημερωτικές επικοινωνίες και επίλυση αποριών με τους Neher, Cheung και DiMauro (2009). Όπως γίνεται κατανοητό τρεις είναι οι συνιστώσες του ανιχνευτικού συστήματος που παρουσιάζονται: (α) η κατασκευή του θαλάμου ιονισμού, (β) η κατασκευή του ηλεκτρονικού κυκλώματος και (γ) η επιλογή και η σύνδεση του κατάλληλου τροφοδοτικού υψηλής τάσης για τη φόρτιση του θαλάμου ιονισμού.

1.5 Καταμέτρηση παλμών ιονισμού

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίον καταμετρώνται και καταγράφονται ηλεκτρονικά οι παλμοί που προέρχονται από ιονισμούς εξαιτίας

της αλληλεπίδρασης –α σωματιδίων τα οποία προέρχονται από τις διασπάσεις Ραδονίου και των θυγατρικών του, στον θάλαμο ιονισμού του ανιχνευτικού συστήματος, με τη χρησιμοποίηση ενός Η/Υ τύπου PC συμβατού και του λογισμικού LabVIEW. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται σε βασικά βιβλία πυρηνικών μετρητικών συστημάτων οι βασικές μονάδες ενός πυρηνικού μετρητικού συστήματος είναι (α) ο ανιχνευτής, (β) το τροφοδοτικό υψηλής τάσης, (γ) ο προενισχυτής, (δ) ο ενισχυτής, (ε) ο διαχωριστής και τέλος (στ) ο καταμετρητής. Δεδομένου ότι οι συνιστώσες (α) έως και (ε) και ο τρόπος που αυτές λειτουργούν σχετικά με τον ανιχνευτή που υλοποιείται έχουν ήδη περιγραφεί αναλυτικά στα Κεφάλαια 2^ο έως και 4^ο, στο παρόν Κεφάλαιο εξετάζεται με λεπτομέρεια ο τρόπος που επιλέχθηκε για την καταμέτρηση, παρουσιάζεται η συγκρότησή του από την άποψη του υλικού και του λογισμικού.

1.6 Δοκιμές χρήσης και ενδεικτική βαθμονόμηση

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η εκτέλεση δοκιμαστικών πειραματικών μετρήσεων με σκοπό τον έλεγχο της καλής λειτουργίας και την κατ'αρχήν βαθμονόμηση της ανιχνευτικής διάταξης. Για την λειτουργία του συστήματος δίνονται σε αυτό το σημείο οι κατάλληλες οδηγίες χρήσης. Οι πειραματικές αυτές μετρήσεις έγιναν με δύο διαφορετικές υλοποιήσεις της ανιχνευτικής διάταξης: το Δοκιμαστικό και το Οριστικό Πρωτότυπο σε φυσικά περιβάλλοντα διαφορετικών επιπέδων συγκεντρώσεων Ραδονίου για ικανό αριθμό ωρών. Το ένα περιβάλλον ήταν ένας χώρος καθημερινής διαβίωσης (3^{ος} όροφος πολυκατοικίας), όπου οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις Ραδονίου ήταν στην περιοχή 0 – 30 Bq m⁻³. Το δεύτερο περιβάλλον ήταν ένας υπόγειος χώρος (ο χώρος ΥΚ5 του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας), όπου οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις Ραδονίου ήταν στην περιοχή 50 – 250 Bq m⁻³. Στο δεύτερο περιβάλλον οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα και με βαθμονομημένο εμπορικό ενεργητικό ανιχνευτή συγκεντρώσεων Ραδονίου τύπου "AlphaGUARD" της εταιρίας κατασκευής Saphymo GmbH (πρώην "Genitron Instruments"). Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των ταυτόχρονων μετρήσεων προέκυψε και μία ενδεικτική βαθμονόμηση του οργάνου, καθώς και ο χρόνος απόκρισης του στις μεταβολές συγκεντρώσεων Ραδονίου. Η ενδεικτική βαθμονόμηση επαληθεύθηκε σε τρίτο πείραμα σε τεχνητό περιβάλλον συγκεντρώσεων Ραδονίου σε έναν από τους θαλάμους Ραδονίου του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας με πολύ καλά αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφονται ορισμένα κατασκευαστικά στοιχεία του ανιχνευτή BERM και στοιχεία από το ηλεκτρονικό κύκλωμα λειτουργίας του ανιχνευτικού συστήματος. Για την πληρέστερη κατανόηση της λειτουργίας της συγκεκριμένης ανιχνευτικής διάταξης, αναφέρεται κατ' αρχήν η βασική αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών ιονισμού, στον τύπο των οποίων ανήκει ο ανιχνευτής με θάλαμο ιονισμού BERM. Στη συνέχεια εξηγείται με ποιο τρόπο –α σωματίδια που παράγονται από τις διασπάσεις του Ραδονίου μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το αέριο του θαλάμου BERM και να οδηγήσουν στην παραγωγή ηλεκτρικού σήματος. Επιλέγεται, με δικαιολόγηση, ο καταρχήν κατάλληλος κυλινδρικός θάλαμος για τον ανιχνευτή BERM με βάση διαθέσιμες μεταλλικές κυλινδρικές συσκευασίες τροφίμων από το εμπόριο. Αναλύονται επιπλέον όλα τα σημεία του ηλεκτρονικού κυκλώματος που απαιτείται για την εκμετάλλευση των παραγόμενων ηλεκτρικών σημάτων από τον BERM. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα θα πρέπει να ενισχύει κατάλληλα τα ηλεκτρικά σήματα που αποδίδει ο θάλαμος και να τα διαχωρίζει από τον θόρυβο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται βασικά δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα, ένας Τελεστικός Ενισχυτής και ένας Συγκριτής, με τρόπο ο οποίος περιγράφεται στο κείμενο. Τέλος, επισημαίνονται στα κατάλληλα σημεία, μερικές άλλες απαιτήσεις οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται από το κύκλωμα, όπως η εξασφάλιση υψηλής διαφοράς δυναμικού 500 V μεταξύ των ηλεκτροδίων του θαλάμου και κατάλληλης τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος, και προτείνονται λύσεις για την επίτευξή τους. Συνολικός στόχος του κεφαλαίου είναι να καθοδηγήσει τον αναγνώστη, βήμα-βήμα στην κατανόηση, του ανιχνευτικού συστήματος BERM, πράγμα που θα τον βοηθήσει στην προσομοίωση της λειτουργίας του και στην υλοποίησή του όπως αυτά θα παρουσιασθούν στα επόμενα 3^ο και 4^ο Κεφάλαια.

2.2 Αρχή λειτουργίας θαλάμων ιονισμού

Οι θάλαμοι ιονισμού ανήκουν στους λεγόμενους ανιχνευτές αερίου. Στους ανιχνευτές αερίου το μέσο που αλληλεπιδρά με την ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι ο αέρας ή άλλο αέριο ή μίγμα αερίων. Το αέριο αυτό τοποθετείται μέσα σε θάλαμο κατάλληλης γεωμετρίας, στον οποίο διατηρείται με την χρήση ηλεκτροδίων (που συνήθως έχουν τη μορφή παραλλήλων μεταλλικών πλακών ή τη μορφή λεπτού μεταλλικού άξονα περιβαλλόμενου από λεπτό μεταλλικό κέλυφος), ισχυρό

ηλεκτρικό πεδίο (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 2.1). Τα σωματίδια ή τα φωτόνια των προς ανίχνευση ακτινοβολιών αλληλεπιδρούν με το αέριο του θαλάμου και το ιονίζουν αποσπώντας ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα τα οποία παράγονται, συλλέγονται από τα αντίστοιχα θετικά ή αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόδια ανάλογα με το φορτίο τους.

Η ποσότητα ενέργειας της ιοντίζουσας ακτινοβολίας που απαιτείται για την απόσπαση των ασθενέστερα συνδεδεμένων ηλεκτρονίων του αερίου είναι της τάξεως των 10-20 eV. Με βάση αυτήν την αρχή, οι ανιχνευτές αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και την μέτρηση όλων των ειδών ακτινοβολίας ($-\alpha$, $-\beta$ ή $-\gamma$). Κρίνονται όμως καταλληλότεροι για την ανίχνευση και την μέτρηση $-\beta$ και $-\gamma$ ακτινοβολίας, διότι το πάχος του κελύφους που ορίζει τον θάλαμο στον οποίο περιέχεται το αέριο, συνήθως εμποδίζει τα βαρύτερα $-\alpha$ σωματίδια να το διαπεράσουν, δηλαδή, τα βαρύτερα αυτά $-\alpha$ σωματίδια, αλληλεπιδρούν πρακτικά μόνο με το τοίχωμα του ανιχνευτή, και δεν φθάνουν στον χώρο που βρίσκεται το αέριο. Κατά συνέπεια η πληροφορία σχετικά με την σωματιδιακή ακτινοβολία $-\alpha$ συνήθως χάνεται. Η σωματιδιακή ακτινοβολία $-\beta$ που μπορεί να είναι ποζιτρόνια ή ηλεκτρόνια, αλληλεπιδρά τόσο με το τοίχωμα του θαλάμου όσο και με το αέριο του ανιχνευτή. Φυσικά, ένα ποσοστό της $-\beta$ ακτινοβολίας δεν φθάνει ποτέ στον χώρο του αερίου αλληλεπιδρώντας πλήρως με το τοίχωμα του θαλάμου. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από το πάχος του τοιχώματος του θαλάμου. Η φωτονιακή ακτινοβολία $-\gamma$ πρακτικά διαπερνά το τοίχωμα του θαλάμου και αλληλεπιδρά με το αέριο του ανιχνευτή. Σε αυτήν την περίπτωση, ποσοστό της $-\gamma$ ακτινοβολίας διαπερνά ολόκληρη τη γεωμετρία χωρίς να αλληλεπιδράσει. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται ευθέως από την ενέργεια των φωτονίων και αντιστρόφως από τις φυσικές διαστάσεις του θαλάμου του ανιχνευτή, δηλαδή τον όγκο του.

Η αλληλεπίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας (δηλαδή βασικά ενός φωτονίου ή ενός $-\beta$ σωματιδίου) με το αέριο μπορεί να δημιουργήσει N ζεύγη ιόντων. Ο αριθμός P των φορτίων που φθάνουν σε κάθε ηλεκτρόδιο ανά σωματίδιο/φωτόνιο εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη διαφορά δυναμικού και μπορεί να είναι μικρότερος, ίσος ή μεγαλύτερος από τον N . Έστω ότι οι διαφορές δυναμικού που τηρούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή είναι αυτές που διακρίνονται στο σχήμα του Διαγράμματος 2.2. Για μικρές διαφορές δυναμικού στην περιοχή $V < V_s$, παρατηρείται ότι $P < N$ διότι υπερισχύει ο μηχανισμός της επανασύνδεσης ετεροσήμων ιόντων έναντι του ανταγωνιστικού μηχανισμού της περισυλλογής των φορτίων από τα ηλεκτρόδια. Όσο αυξάνεται η κινητική ενέργεια των ιόντων λόγω αύξησης του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου, τόσο ο πρώτος μηχανισμός εξασθενεί έναντι του δεύτερου. Η περιοχή διαφορών δυναμικού $V < V_s$,

ονομάζεται περιοχή επανασυνδέσεων. Για μεγαλύτερες διαφορές δυναμικού στην περιοχή $V_s < V < V_p$ ισχύει γενικά ότι $P = N$. Οι ταχύτητες των ιόντων σε αυτή τη διαφορά δυναμικού είναι τέτοιες που δεν γίνονται επανσυνδέσεις μεταξύ αντίθετα κινούμενων ετεροσήμων ιόντων. Η περιοχή διαφορών δυναμικού $V_s < V < V_p$, ονομάζεται περιοχή ιονισμού. Ο ανιχνευτής αερίου που λειτουργεί στην περιοχή διαφορών δυναμικού ιονισμού ονομάζεται θάλαμος ιονισμού. Για τον θάλαμο ιονισμού η κατώτερη τιμή της διαφοράς δυναμικού V_s μπορεί να είναι περί τα 150 - 200 V, ενώ η ανώτερη τιμή της διαφοράς δυναμικού V_p βρίσκεται στην περιοχή 300 - 1000 V και εξαρτάται πολύ από την γεωμετρία του θαλάμου. Για τιμές της διαφοράς δυναμικού $V > V_p$ για τον ανιχνευτή αερίου θα ισχύει $P = kN$, όπου $k = k(V)$ (είναι ο αναλογικός ανιχνευτής αερίου) ή για ακόμα μεγαλύτερες τιμές της διαφοράς $P \gg N$ (είναι ο ανιχνευτής G-M ή Geiger - Mueller).

Τα βασικά στοιχεία του ηλεκτρονικού κυκλώματος που απαιτείται για την λειτουργία ενός θαλάμου ιονισμού διακρίνονται στο σχήμα του Διαγράμματος 2.3. Όταν ο ανιχνευτής δεν προσβάλλεται από ακτινοβολία η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης R είναι 0. Όταν ο ανιχνευτής αλληλεπιδράσει με ένα σωματίδιο ή φωτόνιο, θα εμφανιστούν φορτία. Μέχρι τη στιγμή που το σύνολο αυτών των φορτίων q συλλεχθούν πλήρως από τα ηλεκτρόδια θα περάσει χρόνος. Κατά την διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης R θα δίνεται από την σχέση (για περισσότερα βλ. και Λεωνίδου, 1990)

$$V(t) = q(t) / (C_1 + C_2) \quad (2.1)$$

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα μπορεί να είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να μετράει ρεύμα ή παλμούς. Αν το ηλεκτρονικό κύκλωμα μετράει ρεύμα, δηλαδή το κατά μέσο όρο πλήθος φορτίων στην μονάδα του χρόνου είναι δυνατόν να παρακολουθείται η σταθερότητα της έντασης ενός πεδίου ακτινοβολιών ή να συγκρίνονται δύο ή περισσότερα πεδία ακτινοβολίας ίδιου τύπου. Αν το ηλεκτρονικό κύκλωμα μετράει παλμούς, δηλαδή καταμετρά τις σημαντικές μεταβολές της τάσης $V(t)$, ως συγκεκριμένα γεγονότα είναι δυνατόν να εκτιμάται μέσω καταλλήλων συντελεστών βαθμονόμησης η ραδιενέργεια της πηγής που εκπέμπει την ακτινοβολία που προσβάλλει τον ανιχνευτή.

Είναι φανερό ότι ο θάλαμος ιονισμού αποτελεί μία από τις απλούστερες ανιχνευτικές διατάξεις αερίου. Το αέριο μέσα σε έναν θάλαμο ιονισμού είναι συνήθως ο ατμοσφαιρικός αέρας. Άλλα αέρια που χρησιμοποιούνται σε θαλάμους ιονισμού είναι το Αργόν (Ar), το Μεθάνιο (CH_4) το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2) και ορισμένοι συνδυασμοί τους. Ένας θάλαμος ιονισμού με ατμοσφαιρικό αέρα μπορεί να είναι ανοικτός (να επικοινωνεί δηλαδή με τον αέρα του περιβάλλοντος) ή

κλειστός. Στην περίπτωση του ανοικτού θαλάμου, υπάρχει το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατόν να μετρηθεί η συγκέντρωση –α ραδιενεργών αερίων, όπως το Ραδόνιο, εισάγοντας τα μέσα στον θάλαμο και μετρώντας το πλήθος των φορτίων που παράγονται από την αλληλεπίδραση των –α σωματιδίων με τον ατμοσφαιρικό αέρα του θαλάμου ιονισμού. Από την άλλη πλευρά, ο ανοικτός θάλαμος ιονισμού είναι ευάλωτος στην ύπαρξη υγρασίας ή /και άλλων ρύπων του ατμοσφαιρικού αέρα, οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοσή του. Ο κλειστός θάλαμος δεν υποφέρει από αυτά τα μειονεκτήματα. Ο εγκλεισμένος σε αυτόν ατμοσφαιρικός αέρας ή άλλο αέριο μπορεί να βρίσκεται υπό πίεση έως 6 atm. Σε αυτήν την πίεση, και για δεδομένο όγκο, επιτυγχάνεται αύξηση της μάζας του αλληλεπιδρώντος αερίου, οπότε και αύξηση της απόδοσης της ανιχνευτικής διάταξης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ανεξάρτητα από το είδος του θαλάμου ιονισμού ως προς το αν είναι ανοικτός ή κλειστός, η απόδοσή του εξαρτάται και από την ατμοσφαιρική πίεση διότι αυτή καθορίζει και την πυκνότητα του αερίου το οποίο αλληλεπιδρά με την ιοντίζουσα ακτινοβολία. Σε ακριβείς βαθμονομήσεις θαλάμου ιονισμού, κλειστών ή ανοικτών, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η επικρατούσα ατμοσφαιρική πίεση. Σχετικά με την γεωμετρία των θαλάμων ιονισμού αυτοί συνήθως είναι κυλινδρικοί ή σφαιρικοί. Ο θάλαμος ιονισμού BERM ανήκει στους θαλάμους ιονισμού κυλινδρικής γεωμετρίας.

2.3 Ανίχνευση Ραδονίου με θάλαμο ιονισμού BERM

Ο ευκολότερος τρόπος να εντοπισμού της παρουσίας Ραδονίου είναι να ανιχνευθούν τα υψηλής ενέργειας -α σωματίδια που εκπέμπει ως αποτέλεσμα της ραδιενεργού του διάσπασης. Είναι γνωστό ότι αυτά τα -α σωματίδια έχουν κινητική ενέργεια περίπου 5.49 MeV, η οποία είναι ικανή να ιονίσει τον αέρα που διαπερνούν. Για να ιονιστεί ένας πυρήνας οξυγόνου ή αζώτου απαιτούνται, κατά μέσον όρο, περίπου 34 eV. Επομένως, υποθέτοντας ότι ένα -α σωματίδιο αποδίδει ολόκληρη την ενέργειά του σε ιονισμό, είναι δυνατόν να παράγονται μέχρι και περίπου 100.000 ζεύγη ηλεκτρονίων - θετικών ιόντων κατά μήκος μιας διαδρομής 4 cm. Αυτό έχει σαν συνέπεια, να ανιχνεύεται από το ηλεκτρικό πεδίο του θαλάμου ιονισμού μια αποφόρτιση έως 10^{-14} Coulomb.

Ο θάλαμος ιονισμού BERM είναι ένας θάλαμος ιονισμού κυλινδρικού τύπου, ο οποίος μπορεί να κατασκευαστεί από ένα μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο σαν εκείνο των αναψυκτικών ή άλλο αντίστοιχων διαστάσεων. Για να λειτουργήσει ο θάλαμος πρέπει στο κυλινδρικό δοχείο να τοποθετηθεί αξονικά ένας μεταλλικός κύλινδρος μικρής διαμέτρου, ο οποίος θα κρατείται σε θετικό δυναμικό και θα χρησιμεύει ως άνοδος. Το τοίχωμα του κυλινδρικού δοχείου θα κρατείται σε αρνητικό δυναμικό και θα λειτουργεί ως κάθοδος. Τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που

παράγονται από τους ιονισμούς έλκονται από την θετικά φορτισμένη άνοδο ενώ τα θετικά φορτισμένα ιόντα έλκονται προς τα αρνητικά φορτισμένα τοιχώματα του κυλινδρικού δοχείου. Η προκύπτουσα ροή ρεύματος προκαλεί μια μικρή πτώση τάσης στην αντίσταση, η οποία είναι συνδεδεμένη σε σειρά με την πηγή τροφοδοσίας (βλ. και το σχήμα του Διαγράμματος 2.3). Αυτός ο παλμός ενισχύεται, ανιχνεύεται και καταμετρείται. Ο αριθμός των παλμών ανά μονάδα χρόνου μπορεί έπειτα να πολλαπλασιαστεί με μια σταθερά βαθμονόμησης έτσι ώστε να καθοριστεί η συγκέντρωση Ραδονίου που μετράται σε μονάδες $Bq\,m^{-3}$. Η παρουσία θυγατρικών του Ραδονίου που διασπώνται παράγοντας α σωματίδια στον θάλαμο ιονισμού αυξάνει τον ρυθμό παραγωγής ιόντων.

Η λειτουργία του θαλάμου ιονισμού BERM βασίζεται στην εύλογη υπόθεση ότι ο αέρας στο εσωτερικό του κυλίνδρου είναι ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του αέρα του περιβάλλοντος. Για την αποδοχή της υπόθεσης αυτής, το εσωτερικό του κυλίνδρου του ανιχνευτή BERM πρέπει να επικοινωνεί ικανοποιητικά με τον αέρα του περιβάλλοντος.

2.4 Κυλινδρικός θάλαμος για τον ανιχνευτή BERM

Σύμφωνα με την πρωτότυπη δουλεία του Neher (1994a) ως κυλινδρικός θάλαμος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα κατάλληλα διαμορφωμένο κουτί αλουμινίου, για μπύρα ή αναψυκτικά τυπικού όγκου 330 mL. Παρόλαυτά, η χρήση ακριβώς τέτοιων δοχείων παρουσιάζει ορισμένες τεχνικές δυσκολίες, δηλαδή χρειάζεται να κοπούν ανοίγματα για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ή και άλλων ηλεκτρονικών μέσα στον κύλινδρο. Εναλλακτικά με τα κουτιά αναψυκτικών θα μπορούσε να επιλεγεί με τον σκοπό της κατασκευής του ανιχνευτή BERM παρόμοιο κυλινδρικό κουτί από άλλη συσκευασία τροφίμου, όπως πχ η συσκευασία 115 g των μπισκότων "CAPRICE ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ" (βλ. φωτογραφία Διαγράμματος 2.4 και <http://www.papadopolou.gr/node/229>). Το κυλινδρικό κουτί αυτό παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μία από τις βάσεις του κυλίνδρου αποσπάται απλά, για λόγους εύκολης κατανάλωσης του περιεχομένου του προϊόντος, πράγμα που διευκολύνει την μετατροπή του σε ανιχνευτή BERM. Το υπόψιν κυλινδρικό κουτί έχει παρόμοιο όγκο και γεωμετρία με τα κουτιά αναψυκτικών ή μπύρας που χρησιμοποιήθηκαν από τον Neher (1994a), η ακτίνα δηλαδή και το μήκος του είναι αρκετά μεγάλα ώστε να δίνεται χώρος στα α σωματίδια του Ραδονίου για να ιονίσουν τον περιεχόμενο αέρα. Ταυτόχρονα, η ακτίνα και το μήκος αυτά είναι αρκετά μικρά ώστε πιθανή ταυτόχρονη ύπαρξη ακτινοβολίας από φωτόνια ή β σωματίδια να μην έχει αρκετό διαθέσιμο χώρο για να αλληλεπιδράσει.

2.5 Υψηλή τάση για τον ανιχνευτή BERM

Για την γεωμετρία του κυλινδρικού δοχείου του ανιχνευτή BERM εκτιμάται γενικά ότι η περιοχή τάσεων $V_s - V_p$ (βλ. σχήμα Διαγράμματος 2.2), στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ως θάλαμος ιονισμού είναι από 200 έως το πολύ 1000 V. Επομένως όπως σημειώνει και ο Neher (1994a) μία κατάλληλη υψηλή τάση για το πεδίο του ανιχνευτή είναι τα 500 V, τα οποία απαιτούνται ώστε να διατηρηθεί το κατάλληλο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ της ανόδου και της καθόδου για λειτουργία θαλάμου ιονισμού. Ο Neher (1994a) προτείνει αυτή η υψηλή τάση να εφαρμόζεται από ένα φορτισμένο πυκνωτή. Ο πυκνωτής αυτός θα πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί την φόρτισή του για αρκετό διάστημα ώστε να τροφοδοτεί τον θάλαμο ιονισμού. Ο πυκνωτής θα έχει προφανώς τη θέση του τροφοδοτικού στο σχηματικό ηλεκτρονικό διάγραμμα του ανιχνευτή αερίου του Διαγράμματος 2.3, και θα πρέπει να έχει ικανό συνδυασμό ποιότητας / χωρητικότητας (π.χ. 0.1 μF πολυπροπυλενικός, επιμεταλλωμένος, βλ. και Neher, 1994a) για να διατηρεί την πόλωση στον ανιχνευτή επί αρκετές ημέρες. Σε κάθε περίπτωση η υψηλή τάση με την οποία πολώνεται ο ανιχνευτής BERM, θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απαλλαγμένη από ηλεκτρονικό θόρυβο και τυχόν ολισθήσεις. Η λύση της πόλωσης με πυκνωτή είναι η πλέον κατάλληλη από αυτήν την άποψη. Παρόλαυτά, η λύση του πυκνωτή παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι πρέπει να εξασφαλιστεί ο κατάλληλος μηχανισμός για την ικανοποιητική του φόρτιση και αν χρειάζεται για την ασφαλή αποφόρτισή του. Ο αρνητικός ακροδέκτης του πυκνωτή μπορεί να συγκολλάται με το σώμα του κυλινδρικού δοχείου, το οποίο λειτουργεί ως κάθοδος. Πρέπει να ελέγχεται η μόνωση μεταξύ καθόδου και ηλεκτροδίου ανόδου, δηλαδή στην ουσία θα πρέπει να επιβεβαιώνεται ότι δεν διαπιστώνεται αγωγιμότητα μεταξύ καθόδου και ηλεκτροδίου ανόδου.

2.6 Εκμετάλλευση σήματος από τον ανιχνευτή BERM

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που απαιτείται για την ανίχνευση της εκφόρτισης που συμβαίνει σε έναν θάλαμο ιονισμού εξαιτίας ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι απλό στην βάση του, παρόλαυτά παρουσιάζει δυσκολίες στην υλοποίησή του διότι η ένταση του ρεύματος που παράγεται από τέτοιες εκφορτίσεις είναι της τάξεως του μA . Το ηλεκτρονικό κύκλωμα αυτό ονομάζεται "ηλεκτρόμετρο" και ο σκοπός του είναι να παράγει ένα παλμό τάσης εξόδου σε αναλογία με το παραγώμενο από την εκφόρτιση ρεύμα (βλ. και σχέση 2.1). Το ηλεκτρόμετρο αυτό πρέπει να παρουσιάζει πολύ μικρό ρεύμα διαρροής¹ (δηλαδή μικρότερο από το ρεύμα

¹ Το ρεύμα διαρροής είναι στην ουσία το μέτρο της ηλεκτρικής μόνωσης μεταξύ ανόδου και καθόδου. Αν το ρεύμα διαρροής είναι "0", η άνοδος και η κάθοδος είναι πλήρως ηλεκτρικά απομονωμένες μεταξύ τους. Αν είναι μεγαλύτερο του "0", η μόνωση δεν είναι αποτελεσματική. Στην πράξη το ρεύμα διαρροής δεν είναι ποτέ ίσο με το "0".

εισόδου) έτσι ώστε να μην επικαλύπτεται το σήμα ρεύματος από τον θάλαμο ιονισμού από το ρεύμα διαρροής. Το ηλεκτρόμετρο δεν είναι ανάγκη να παρουσιάζει πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου, αλλά αντίσταση εισόδου ικανή να μετατρέψει ένα μικρό ρεύμα εισόδου σε αξιοποιήσιμο παλμό τάσης. Αυτός ο παλμός τάσης ενισχύεται μέσω ανάδρασης, με τρόπο που θα εξηγηθεί, σε ενισχυτή μεγάλης εσωτερικής αντίστασης. Μετά την εφεύρεση των ημιαγωγών, τέτοια ηλεκτρόμετρα κατασκευάζονται με την χρήση καταλλήλων τρανζίστορ JFET (τρανζίστορ επαφής επίδρασης πεδίου ή στα αγγλικά junction field effect transistor-JFET). Ένα τρανζίστορ JFET λειτουργεί -αν χρησιμοποιηθεί το υδραυλικό ανάλογο του φρένου- ανταλλάσσοντας μια μεγάλη διαδρομή εμβόλου μικρής διατομής (ρεύμα εκφόρτισης) με μικρή διαδρομή εμβόλου μεγάλης διατομής (τάση εξόδου JFET). Ένα JFET έχει 3 ακροδέκτες: τους Gate (G, Πύλη), Source (S, Συλλέκτης) και Drain (D, Απαγωγός). Στην περίπτωση των θαλάμων ιονισμού, ο ακροδέκτης G πρέπει να συνδεθεί απευθείας με το ηλεκτρόδιο ανόδου και ο ακροδέκτης S πρέπει να συνδεθεί με την γείωση του κυκλώματος. Ο ακροδέκτης D χρησιμοποιείται για να αποδίδει την τάση εξόδου του JFET, όταν έχει υπάρξει ρεύμα εκφόρτισης στον ακροδέκτη G. Ο ακροδέκτης G (δηλ. το ηλεκτρόδιο ανόδου), όταν το JFET δεν παράγει ένα παλμό τάσης εξόδου που οφείλεται σε ρεύμα εκφόρτισης θεωρείται ότι βρίσκεται σε δυναμικό περίπου "0" (κατάσταση που αποδίδεται από τον αγγλικό όρο self-biased - αυτοπόλωση). Στην περίπτωση του ανιχνευτή ιονισμού που εξετάζεται εδώ, ένα JFET τύπου J201 κρίνεται κατάλληλο (βλ. και τον Πίνακα 2.1 με τα τεχνικά δεδομένα του J201). Προκειμένου, να τροφοδοτηθεί σωστά αυτό το JFET και να αποδόσει εκμεταλλεύσιμο σήμα, θα πρέπει να συνδεθεί με κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χρησιμοποιείται το κύκλωμα που προτείνεται από τον Neher (1994a) το οποίο διακρίνεται στο σχήμα του Διαγράμματος 2.5. Ως πηγή τροφοδοσίας του κυκλώματος μπορεί να χρησιμοποιείται μια μπαταρία 9 V. Το κύκλωμα καταναλώνει ελάχιστα mA οπότε, μια μπαταρία 9 V θα επαρκεί για τουλάχιστον 50 ώρες λειτουργίας, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει στο ανιχνευτικό σύστημα να είναι φορητό. Η λειτουργία με μπαταρία προφανώς δεν αποτρέπει την τροφοδοσία του κυκλώματος από γραμμή δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση λειτουργίας με μπαταρία ονομαστικής τάσης 9 V, ο θετικός πόλος της συνδέεται στο ένα άκρο της αντίστασης R1 και ο αρνητικός στην γείωση του συστήματος. Η αντίσταση R1 είναι ρυθμιζόμενη μέχρι την μέγιστη τιμή των 33kΩ, ώστε στον ακροδέκτη D του JFET να εφαρμόζεται τάση 1.5 V, η οποία είναι η τάση που χρειάζεται το J201 για την ορθή του λειτουργία του. και αφετέρου η χαμηλή τάση (δυναμικό "0" V), που απαιτείται για την ορθή λειτουργία της ανόδου του ανιχνευτή. Για τη ρύθμιση της τιμής της R1, στην περιοχή από 10 έως 33kΩ,

μπορούν να χρησιμοποιούνται σε σειρά δύο αντιστάσεις: η R1A με σταθερή τιμή 10kΩ και ένα ποτενσιόμετρο R1B 20kΩ.

2.7 Περιγραφή του ηλεκτρονικού κυκλώματος

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα, όπως παρουσιάζεται δεξιά της γραμμής αναφοράς A-A' στο σχήμα του Διαγράμματος 2.6, μπορεί να διακριθεί σε τρία ξεχωριστά μέρη: (α) τον τελεστικό ενισχυτή, (β) τον συγκριτή και (γ) στοιχεία προστασίας από τον θόρυβο. Το κύκλωμα του τελεστικού ενισχυτή βρίσκεται εγκλωβισμένο σε χρωματισμένο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, ενώ το κύκλωμα του συγκριτή σε αντίστοιχο ορθογώνιο με διαφορετικό χρωματισμό, (βλ. και το σχέδιο του Διαγράμματος 2.7)

Ο **τελεστικός ενισχυτής** (TE ή operational amplifier, ή κοινώς op-amp) είναι ένας ενισχυτής συνεχούς τάσης. Η ονομασία τελεστικός προέρχεται από το γεγονός ότι ο ενισχυτής αυτός σε συνδυασμό με άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία μπορεί να εκτελέσει πράξεις όπως η ολοκλήρωση, η πρόσθεση, ο πολλαπλασιασμός επί σταθερά κλπ. Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής είναι ενισχυτής τάσης με άπειρη αντίσταση εισόδου για να μην καταναλώνεται το ρεύμα του κυκλώματος, μηδενική αντίσταση εξόδου, άπειρη ενίσχυση, πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων και μηδενική ολίσθηση. Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής προσεγγίζει τον ιδανικό κυρίως στις πολύ χαμηλές συχνότητες. Σήμερα διατίθενται στο εμπόριο TE σε μορφή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με πολύ καλές επιδόσεις και χαμηλό κόστος. Ένας TE συμβολίζεται όπως στο σχήμα του Διαγράμματος 2.8, όπου V_s ("+" και "-") οι ακροδέκτες αναγκαίας συμμετρικής τροφοδοσίας, V_+ και V_- οι ακροδέκτες που δέχονται εισόδους τάσης και V_{out} ο ακροδέκτης εξόδου. Γειώνοντας μια από τις δύο εισόδους του, ο TE λειτουργεί ως ενισχυτής με μία είσοδο. Αν γειωθεί ο ακροδέκτης για την είσοδο V_+ , η τάση εισόδου στον ακροδέκτη V_- αλλάζει πρόσημο (πράξη αντιστροφής), γι'αυτό η είσοδος V_- χαρακτηρίζεται ως είσοδος που αναστρέφει (inverting input). Αν γειωθεί ο ακροδέκτης για την είσοδο V_- η τάση εισόδου στον ακροδέκτη V_+ δεν αλλάζει πρόσημο (πράξη διατήρησης), γι'αυτό η είσοδος V_+ χαρακτηρίζεται ως είσοδος που διατηρεί το πρόσημο (non-inverting input). Ο Neher (1994a) προτείνει να χρησιμοποιηθεί στο κύκλωμα του ανιχνευτή BERM ένας TE, ο οποίος λειτουργεί ως ενισχυτής inverting input με κύκλωμα ανάδρασης για την αναγκαία ρύθμιση του κέρδους ενίσχυσης (βλ. και το Διάγραμμα σχήματος 2.9), δηλαδή πολλαπλασιάζει το σήμα εισόδου του επί μία ρυθμιζόμενη σταθερά. Σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν, για να επιτευχθεί αυτού του είδους η λειτουργία, πρέπει να γειωθεί ο ακροδέκτης V_+ που δεν αναστρέφει (non-inverting input) και να τοποθετηθεί μεταξύ του ακροδέκτη V_- και

του ακροδέκτη V_{out} το κατάλληλο κύκλωμα αντιστάσεων ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ενίσχυση.

Ο ΤΕ αυτός παραλαμβάνει χαμηλή τάση εισόδου από το JFET. Το κύκλωμα αντιστάσεων σε συνδυασμό με τον ΤΕ πρέπει να είναι σχεδιασμένο ώστε να ενισχύει την τάση εισόδου (ακροδέκτης V_-) από τάξη μεγέθους mVolt ($10^{-3}V$) σε τάξη μεγέθους Volt (ακροδέκτης V_{out}). Το αντίστοιχο μέγιστο κέρδος ενίσχυσης τάσης G στο κύκλωμα ενίσχυσης εκτιμάται με αυτόν τον τρόπο στα 60 dB, όταν αυτά υπολογίζονται με βάση τη σχέση ορισμού:

$$G = 20 \log_{10} \frac{[V]}{[10^{-3}V]} \quad (2.2)$$

Στην περίπτωση του ηλεκτρονικού κυκλώματος που εξετάζεται το κατάλληλο κύκλωμα αντιστάσεων για την ενίσχυση αποτελείται από τις αντιστάσεις R_4 και R_5 με τιμή 1 MΩ η κάθε μία σε παράλληλη σύνδεση (βλ. και το σχήμα του Διαγράμματος 2.10). Το κύκλωμα αυτό με συνολική τιμή αντίστασης $R_f = 0.5$ MΩ λειτουργεί ως ρυθμιστική αντίσταση ενίσχυσης. Η τιμή της ενίσχυσης καθορίζεται από τη σχέση:

$$G = \frac{V_{out}}{V_-} = -\frac{R_f}{R_{in}} \quad (2.3)$$

Τον ρόλο της R_{in} παίζει η σύνθετη εσωτερική αντίσταση του JFET, η τιμή της οποίας μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση του ημιαγωγού του JFET. Ο μόνος τρόπος για να ρυθμιστεί το κέρδος ενίσχυσης, είναι να μεταβληθεί η R_f . Όπως περιγράφει ο Neher (1994a), η τιμή της αντίστασης R_f μπορεί να διπλασιαστεί αν κριθεί αναγκαίο, αποκόπτοντας την μία εκ των δύο αντιστάσεων R_4 ή R_5 . Αυτό σύμφωνα με τη σχέση (2.3) θα έχει ως αποτέλεσμα τον διπλασιασμό της ενίσχυσης.

Επισημαίνεται ότι η σειριακή σύνδεση του JFET με τον ΤΕ αποδίδει συνολική ενίσχυση στο σήμα που έρχεται από τον ανιχνευτή BERM, που μπορεί να φθάσει μέχρι και 160 dB, διότι η σύνθετη αντίσταση του JFET όταν υπάρχει σήμα από τον ανιχνευτή τείνει σε πολύ μικρές τιμές, δηλαδή ο ημιαγωγός άγει. Για να προληφθεί τυχόν πολλαπλασιαστική ανάδραση, η είσοδος του JFET θα πρέπει να μονωθεί ηλεκτρομαγνητικά (να βρίσκεται δηλαδή σε "καλή" απόσταση) από την έξοδο V_{out} του τελεστικού ενισχυτή.

Υπενθυμίζεται, ότι στον ακροδέκτη D του JFET εφαρμόζεται τάση 1.5 V, η οποία είναι η τάση που χρειάζεται το J201 για την ορθή του λειτουργία του. Είναι προφανές ότι η μικρή αυτή τάση δεν πρέπει να ενισχύεται από τον ΤΕ και τα κυκλώματά του. Για το σκοπό αυτό ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής (εδώ ο C_2 με τιμή 47 μF) πρέπει να συνδεθεί σε σειρά με την είσοδο V_- , έτσι ώστε να

εμποδίζεται η ενίσχυση αυτής της συνεχούς τάσης. Με αυτόν τον μηχανισμό απλού φίλτρου, ο TE δέχεται και ενισχύει μόνο παλμούς τάσης.

Για να λειτουργήσει ομαλά (χωρίς παραμορφώσεις) ο TE θα πρέπει στους ακροδέκτες V_s ("+" και "-") να εφαρμοστεί συμμετρική τροφοδοσία. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα όπως είναι σχεδιασμένο τροφοδοτείται από μία πηγή συνεχούς ρεύματος 9 V. Με αυτό ως δεδομένο, η δημιουργία συμμετρικής τροφοδοσίας για την εξυπηρέτηση του TE δεν προσφέρεται. Αντί για αυτό, στον ακροδέκτη V_{s+} συνδέεται η τάση των 9 V και στον ακροδέκτη V_{s-} συνδέεται η γη. Τα δυναμικά στους ακροδέκτες V_{s+} και V_{s-} μπορούν να θεωρηθούν συμμετρικά ως προς την τιμή δυναμικού 4.5 V. Αυτή η στάθμη δυναμικού ονομάζεται εικονική ή υπερβατική γη (virtual earth) του τελεστικού ενισχυτή. Για την αποφυγή της παραμόρφωσης συστήνεται ο ακροδέκτης V_+ να αποκτήσει δυναμικό ίσο με αυτό της υπερβατικής γης (4.5 V). Για την δημιουργία του δυναμικού αυτού αρκεί ένας διαιρέτης τάσης για 9V, ο οποίος μπορεί να κατασκευάζεται από δύο αντιστάσεις $R_2 = R_3$ συνδεδεμένες σε σειρά με πολύ μεγάλη αντίσταση (π.χ. 1 MΩ κάθε μία) για να μην καταναλώνεται το ρεύμα του κυκλώματος.

Ο **συγκριτής** (comparator) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο συγκρίνει τάσεις ή ρεύματα και αλλάζει την έξοδο του για να υποδείξει ποιο είναι μεγαλύτερο. Ένας συγκριτής συμβολίζεται όπως στο σχήμα του Διαγράμματος 2.11, όπου V_s ("+" και "-") οι ακροδέκτες αναγκαίας συμμετρικής τροφοδοσίας, V_+ και V_- οι ακροδέκτες εισόδου και V_{out} ο ακροδέκτης εξόδου. Στο ανιχνευτικό σύστημα BERM, είναι απαραίτητη μία διάταξη συγκριτή, η οποία θα μπορεί να καταλαβαίνει πότε υπάρχει παλμός τάσης στην έξοδο V_{out} του TE. Επομένως ο συγκριτής αυτός λειτουργεί στην περίπτωση που εξετάζεται ως διαχωριστής του πραγματικού σήματος που οφείλεται σε -α σωματίδια από το θόρυβο.

Σε κατάσταση ηρεμίας, όταν το JFET δεν παραλαμβάνει ρεύμα εκφόρτισης από τον θάλαμο ιονισμού, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν -α σωματίδια εξαιτίας του Ραδονίου, τότε στην έξοδο V_{out} του TE υπάρχει δυναμικό περί τα 4.5 V, το οποίο οδηγείται, μαζί με κάποιο θόρυβο φυσικά, μέσω της αντίστασης R_7 (1 MΩ) στον ακροδέκτη V_- του συγκριτή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο ακροδέκτης αυτός να αποκτά δυναμικό περί τα 4.5 V. Στην ίδια κατάσταση ηρεμίας, και με τις συνδέσεις που διακρίνονται στο σχήμα του Διαγράμματος 2.12, ο ακροδέκτης V_+ του συγκριτή θα έχει δυναμικό κατά περίπου 0.5V πιο θετικό από τον V_- και δεν θα παράγεται έξοδος στον ακροδέκτη V_{out} .

Όταν ο θάλαμος ιονισμού ανιχνεύσει ιονισμό λόγω -α σωματιδίου, η έξοδος V_{out} του TE πέφτει απότομα (μέσα σε λίγα ns) προς τα αρνητικά από την τιμή ηρεμίας των 4.5 V. Από την χαμηλότερη αυτή θέση, η τάση επανέρχεται στην τιμή ηρεμίας

σε μερικά msec. Αν ο αρνητικός παλμός τάσης έχει ύψος μεγαλύτερο από 0.5 V, γίνει δηλαδή μεγαλύτερος από την διαφορά δυναμικού των ακροδεκτών V_+ και V_- του συγκριτή, τότε ο συγκριτής αφήνει να περάσει στην έξοδο του V_{out} ο υπόψιν παλμός, για χρόνο ο οποίος καθορίζεται από τον χρόνο εξασθένισης του παλμού. Ρυθμίζοντας το κέρδος της ενίσχυσης σε χαμηλή τιμή ενισχύονται σημαντικά (δηλ. πάνω από το κατώφλι του 0.5V του συγκριτή) μόνο οι παλμοί από ιονισμούς λόγω α σωματιδίων. Οι παλμοί τάσεως που οφείλονται σε ιονισμούς από β σωματίδια, ακτινοβολία γ αλλά και σε ηλεκτρονικό θόρυβο θα προκύπτουν μετά την ενίσχυση αυτή με τιμές κάτω από το κατώφλι και θα απορρίπτονται. Το πώς οι παλμοί από ιονισμό λόγω α σωματιδίων καταγράφονται σε καταγραφικό σύστημα είναι θέμα που θα εξετασθεί στο επόμενο 5^ο Κεφάλαιο. Για το σκοπό της καταγραφής μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της εξόδου V_{out} του συγκριτή από οποιοδήποτε λογική συσκευή, ψηφιακό μετρητή ή αριθμητή συμβάντων.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιείται τόσο για TE όσο και για συγκριτής είναι το LM392N, κατασκευασμένο από την εταιρία National Semiconductors, το οποίο έρχεται σε συσκευασία 8 ακροδεκτών σε διάταξη διπλής σειράς (Dual In Line Package) (βλ. και τον Πίνακα 2.2 με τα τεχνικά δεδομένα του ολοκληρωμένου). Πολύ βολικά για την συγκεκριμένη εφαρμογή, το ολοκληρωμένο αυτό αποτελείται από δύο ανεξάρτητα κυκλώματα, "κτισμένα" μέσα σε μία συσκευασία. Το πρώτο κύκλωμα, αποτελεί έναν τελεστικό ενισχυτή υψηλής ενίσχυσης και το δεύτερο έναν συγκριτή τάσεων υψηλής ακριβείας. Τα δύο υποκυκλώματα, δεν απαιτούν δύο ξεχωριστές πηγές τροφοδοσίας και η κατανάλωση ρεύματός τους είναι πολύ μικρή και πρακτικά ανεξάρτητη από την τάση τροφοδοσίας για μεγάλο εύρος τάσεων, γεγονός που καθιστά το ολοκληρωμένο LM392N εξαιρετική επιλογή για φορητό όργανο. Το ολοκληρωμένο μπορεί να λειτουργήσει από μια ενιαία παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε ένα ευρύ φάσμα τάσεων τροφοδοσίας (3 έως 32 V). Η κατανάλωση ρεύματος είναι 600 μA και είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη της τάσης τροφοδοσίας.

Για την αποσύζευξη τυχόν ηλεκτρονικού θορύβου στο κύκλωμα χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Παράλληλα με την πηγή τροφοδοσίας των 9V συνδέεται ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας (ο C3 με τιμή 470 μF). Αυτός ο πυκνωτής λειτουργεί ως στοιχείο προσωρινής αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο να αποτρέψει τυχόν ανεπιθύμητη μεταφορά θορύβου μεταξύ δύο ή περισσότερων ηλεκτρονικών στοιχείων του κυκλώματος μέσω της κοινής πηγής τροφοδοσίας. Σε μεταβατικά φαινόμενα ή παροδικές περιόδους υψηλής ζήτησης σε ρεύμα, η πηγή τροφοδοσίας μπορεί να μην είναι ικανή να ανταποκριθεί άμεσα με αποτέλεσμα να υπάρχουν διακυμάνσεις στην τάση της πηγής (άρα και της τάσης τροφοδοσίας του

κυκλώματος) οι οποίες να επηρεάζουν τη λειτουργία ολόκληρου του ανιχνευτικού κυκλώματος. Σε τέτοιες στιγμές μεταβατικών φαινομένων η αποθηκευμένη ενέργεια του πυκνωτή καταναλώνεται, αποτρέποντας έτσι τυχόν αστάθεια στην λειτουργία του συστήματος. Εκτός από το στοιχείο τροφοδοσίας, η αρνητική είσοδος V_- του συγκριτή προστατεύεται επίσης από τυχόν θόρυβο με ηλεκτρολυτικό πυκνωτή κατάλληλης τιμής (C_4 με τιμή $1\ \mu\text{F}$). Η θετική είσοδος V_+ του συγκριτή προστατεύεται από τυχόν θετικούς παλμούς θορύβου με τη βοήθεια μιας ανορθωτικής διόδου τύπου 1N4148, αντίστοιχη με την 1N914 την οποία προτείνει ο Neher (1994a) (βλ. και το σχέδιο του Διαγράμματος 2.13).

Στον Πίνακα 2.3 διακρίνεται η αντιστοιχία των ακροδεκτών (pins) του ολοκληρωμένου LM392N με τα σύμβολα εισόδου και εξόδου του τελεστικού ενισχυτή και του συγκριτή, όπως αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί στο πιο πάνω κείμενο.

2.8 Ειδικά σχόλια για το ηλεκτρονικό κύκλωμα

Ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιαστεί το ηλεκτρονικό κύκλωμα του συστήματος ανίχνευσής μεγιστοποιεί την ενίσχυση του ρεύματος εκφόρτισης, μεγιστοποιεί δηλαδή το λόγο σήματος-προς-θόρυβο (Sound-to-Noise Ration, SNR). Η ιδιαίτερα ευαίσθητη είσοδος της ενισχυτικής διάταξης, η πύλη G του JFET J201, φορτίζεται με δυναμικό στην περιοχή του $1\ \text{mV}$ ανά ιονισμό στον θάλαμο, οπότε τυχόν ηλεκτρικός ή ηλεκτρονικός θόρυβος θα μπορούσε να επηρεάσει σοβαρά την λειτουργία του κυκλώματος. Για τον σκοπό αυτό επιπλέον το JFET του κυκλώματος καλό είναι να μην τοποθετείται πάνω σε τυπωμένο κύκλωμα, αλλά οι ακροδέκτες του να συνδέονται "στον αέρα" (point-to-point) με τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος. Με αυτήν την προσέγγιση αποφεύγονται ανεπιθύμητες χωρητικότητες και ρεύματα διαρροής. Εκτιμάται ότι με αυτόν τον τρόπο κατασκευής η συνολική χωρητικότητα του θαλάμου ιονισμού με τις διαστάσεις δοχείου αναψυκτικού είναι μόλις περίπου $7\ \text{pF}$.

Αν στο ηλεκτρόδιο ανόδου υπάρχει ρεύμα εκφόρτισης, ισοδύναμα δηλαδή υπάρχει ρεύμα στον ακροδέκτη G του JFET, το οποίο μάλιστα είναι –όπως έχει σημειωθεί– της τάξης του μA , αυτό θα πρέπει να διατηρηθεί εκεί αρκετό χρονικό διάστημα ώστε ο ενισχυτής να αποκριθεί. Το ρεύμα αυτό είναι ικανό, παρόλο που είναι ελάχιστο, για να οδηγηθεί σήμα τάσης από το JFET στον ενισχυτή. Αυτό όμως είναι δυνατόν μόνο αν δεν χάνεται ρεύμα σε συνδέσεις π.χ. τυπωμένου κυκλώματος, δηλαδή αν δεν υπάρχουν ρεύματα διαρροής. Με αυτόν τον σχεδιασμό, ένας ιονισμός από α σωματίδιο, μπορεί θεωρητικά να παράγει έναν μεγάλο παλμό τάσης διάρκειας $100\ \text{ms}$ που είναι 20 έως $40\ \text{dB}$ μεγαλύτερος από τον θόρυβο του ενισχυτή. Ένας περιορισμός αυτού του σχεδιασμού είναι ότι η αντίσταση R_1

($=R_{1A}+R_{1B}$) στον ακροδέκτη D και η αντίσταση R_f πρέπει να επιλεγθούν ώστε να συνεργάζονται με το συγκεκριμένο JFET που χρησιμοποιείται. Εχοντας επιλέξει αυτοπόλωση για την πύλη G του JFET μεγιστοποιείται προφανώς η αντίσταση εισόδου. Από την άλλη δεδομένου ότι το ρεύμα εκφόρτισης στο ηλεκτρόδιο της ανόδου δεν παραλαμβάνεται από πραγματική ωμική αντίσταση ελαχιστοποιείται ο θερμικός θόρυβος και η θερμική σταθερότητα δεν αποτελεί πηγή προβλημάτων για αυτό το ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο αναμένεται να λειτουργεί κανονικά σε θερμοκρασία δωματίου. Ακόμη και με σχετικά ευρεία διακύμανση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, η γενική βαθμονόμηση του BERM αναμένεται να είναι σταθερή και να παραμένει απρόσβλητη από τις μικρο-αλλαγές κέρδους του ενισχυτή.

Σημειώνεται ότι οι προδιαγεγραμμένες τιμές μερικών στοιχείων του κυκλώματος μπορούν να αλλάξουν κατά την κατασκευή (βλ. και στο επόμενο 4^ο Κεφάλαιο), ώστε να βελτιωθεί η απόδοση του ανιχνευτικού συστήματος BERM αφότου εκτελεσθούν τα αρχικά βήματα ελέγχου καλής λειτουργίας του κυκλώματος.

2.9 Σταθεροποίηση του κυκλώματος και σημεία ελέγχου

Ένα μειονέκτημα του ηλεκτρονικού κυκλώματος είναι ότι χρειάζονται αρκετά λεπτά (ίσως περισσότερα από 10') από την στιγμή που θα εφαρμοστεί η τάση λειτουργίας (9 V) μέχρις ότου ο ενισχυτής σταθεροποιηθεί. Στο σχήμα του Διαγράμματος 2.14, διακρίνονται τρία σημεία επαλήθευσης της σταθεροποίησης και ελέγχου της ορθής λειτουργίας του ηλεκτρονικού κυκλώματος (test points). Τα σημεία αυτά είναι ο απαγωγός D του JFET (πρέπει να είναι +1.5V), η είσοδος V_+ του TE (πρέπει να είναι +4.5V) και η έξοδος V_{out} του TE (πρέπει εκεί να ανιχνεύονται από παλμογράφο αρνητικοί παλμοί, που οφείλονται σε θόρυβο ή/και ιονισμούς). Το πρώτο αναφερόμενο σημείο ελέγχου είναι αυτό που δείχνει κυρίως αν η συμπεριφορά του JFET έχει σταθεροποιηθεί και είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την στοιχειώδη λειτουργία του. Σημειώνεται εδώ ότι ο κατάλληλος συνδυασμός των στοιχείων του κυκλώματος (δηλ. των JFET, TE, Συγκριτή, αντιστάσεων και πυκνωτών) επιτρέπει την προσαρμογή της απόκρισης του κυκλώματος ώστε να διαχωρίζεται ο ηλεκτρονικός θόρυβος και ο φυσικός θόρυβος (δηλ. οι παλμοί τάσεως λόγω ιονισμών από φωτόνια και $-\beta$ σωματίδια) από τους παλμούς τάσεως λόγω ιονισμών από $-\alpha$ σωματίδια, οι οποίοι εκτιμάται ότι είναι 5 φορές ισχυρότεροι από τον όποιο θόρυβο. Επιπλέον οι παλμοί τάσεως του φυσικού θορύβου παρουσιάζουν πολύ μικρότερους χρόνους εξασθένισης (της τάξεως των μs).

2.10 Συμπεράσματα

Από τα προηγούμενα γίνεται φανερό ότι το ανιχνευτικό σύστημα, τα κατασκευαστικά στοιχεία του οποίου αναλύθηκαν, αποτελείται από ιδιαίτερα λίγα εξαρτήματα και ηλεκτρονικά μέρη, με αρκετά απλή συνδεσμολογία. Συμπεραίνεται ότι, η κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος στηρίζεται στην αφομοίωση μερικών απλών ηλεκτρονικών αρχών και ότι η υλοποίησή του δεν είναι πολύπλοκη ούτε χρονοβόρα. Τονίζεται ότι οι σημαντικότερες παράμετροι, οι οποίες επηρεάζουν την λειτουργία του συστήματος, είναι ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος του κυκλώματος, τυχόν ρεύματα διαρροής και τυχόν ανεπιθύμητες χωρητικότητες. Η πρόκληση στον σχεδιασμό και στην κατασκευή, βρίσκεται στον περιορισμό του ρόλου αυτών των παραμέτρων. Όπως αναφέρεται, ο σχεδιαστής (Neher, 1994a) του πρωτότυπου κυκλώματος παρέχει μια σειρά από υποδείξεις και συμβουλές προς αυτήν την κατεύθυνση. Σημαντικές βελτιώσεις του σχεδιασμού του κυκλώματος δεν κρίνονται κατ'αρχήν αναγκαίες για την εφαρμογή που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Στο επόμενο 3^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μία λεπτομερής προσομοίωση της λειτουργίας του ανιχνευτικού συστήματος, προκειμένου να διαπιστωθεί (α) ότι η συμπεριφορά του είναι σταθερή και αναμενόμενη όπως περιγράφεται από τον Neher (1994a), (β) ότι στα σημεία ελέγχου όπως έχουν ήδη παρουσιαστεί πιο πάνω, αναγνωρίζονται οι προβλεπόμενες τάσεις ή τα προβλεπόμενα σήματα και τέλος (γ) ότι μία προσομοίωση αλληλεπίδρασης τύπου ιονισμού στον ακροδέκτη G του JFET θα οδηγήσει στην αναμενόμενη ενίσχυση του παραγόμενου παλμού τάσης και στον επιτυχή διαχωρισμό του από τον θόρυβο.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΟΥ 2^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



J201 - J202 / MMBFJ201 - MMBFJ203 N-Channel General Purpose Amplifier

- This device is designed primarily for low level audio and general purpose applications with high impedance signal sources.
- Sourced from Process 52.



Absolute Maximum Ratings * $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{DG}	Drain-Gate Voltage	40	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	-40	V
I_{GF}	Forward Gate Current	50	mA
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150°C .

2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics* $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value		Units
		J201 - J202	MMBFJ201 - MMBFJ203	
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625 5.0	350 2.8	W mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	125		$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	556	$^\circ\text{C/W}$

* Device mounted on FR-4 PCB $1.6" \times 1.6" \times 0.06"$

Electrical Characteristics * $T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max	Units
Off Characteristics					
$V_{(BR)GSS}$	Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = -1\mu\text{A}, V_{DS} = 0$	-40		V
I_{GSS}	Gate Reverse Current	$V_{GS} = -20\text{V}, V_{DS} = 0$		-100	pA
$V_{GS(off)}$	Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 20\text{V}, I_D = 10\text{nA}$	201 202 203	-0.3 -0.8 -2	-1.5 -4 -10 V
On Characteristics					
I_{DSS}	Zero-Gate Voltage Drain Current *	$V_{DS} = 20\text{V}, I_{GS} = 0$	201 202 203	0.2 0.9 4	1.0 4.5 20 mA
Small Signal Characteristics					
y_{fs}	Forward Transfer Admittance	$V_{DS} = 20\text{V}, f = 1.0\text{kHz}$	201 202 203	500 1000 1500	μmhos

Πίνακας 2.1

Τεχνικά χαρακτηριστικά JFET J201

J201 - J202 / MMBFJ201 - MMBFJ203 — N-Channel General Purpose Amplifier

LM392

Low Power Operational Amplifier/Voltage Comparator

General Description

The LM392 series consists of 2 independent building block circuits. One is a high gain, internally frequency compensated operational amplifier, and the other is a precision voltage comparator. Both the operational amplifier and the voltage comparator have been specifically designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Both circuits have input stages which will common-mode input down to ground when operating from a single power supply. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current is independent of the magnitude of the supply voltage.

Application areas include transducer amplifier with pulse shaper, DC gain block with level detector, VCO, as well as all conventional operational amplifier or voltage comparator circuits. Both circuits can be operated directly from the standard 5 V_{DC} power supply voltage used in digital systems, and the output of the comparator will interface directly with either TTL or CMOS logic. In addition, the low power drain makes the LM392 extremely useful in the design of portable equipment.

Advantages

- Eliminates need for dual power supplies
- An internally compensated op amp and a precision comparator in the same package
- Allows sensing at or near ground

- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out is the same as both the LM358 dual op amp and the LM393 dual comparator

Features

- Wide power supply voltage range
Single supply: 3V to 32V
Dual supply: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Low supply current drain—essentially independent of supply voltage: 600 μA
- Low input biasing current: 50 nA
- Low input offset voltage: 2 mV
- Low input offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage

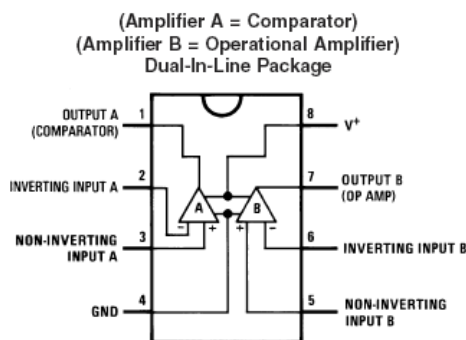
ADDITIONAL OP AMP FEATURES

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz
- Large output voltage swing: 0V to V⁺ - 1.5V

ADDITIONAL COMPARATOR FEATURES

- Low output saturation voltage: 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with all types of logic systems

Connection Diagram

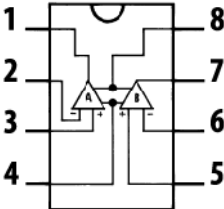
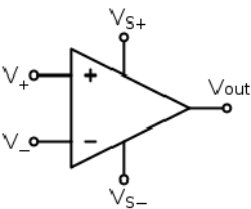
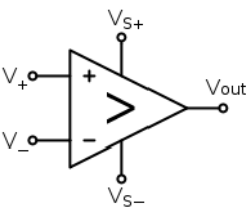


00779201

(Top View)
Order Number LM392M or LM392MX
See NS Package Number M08A
Order Number LM392N
See NS Package Number N08E

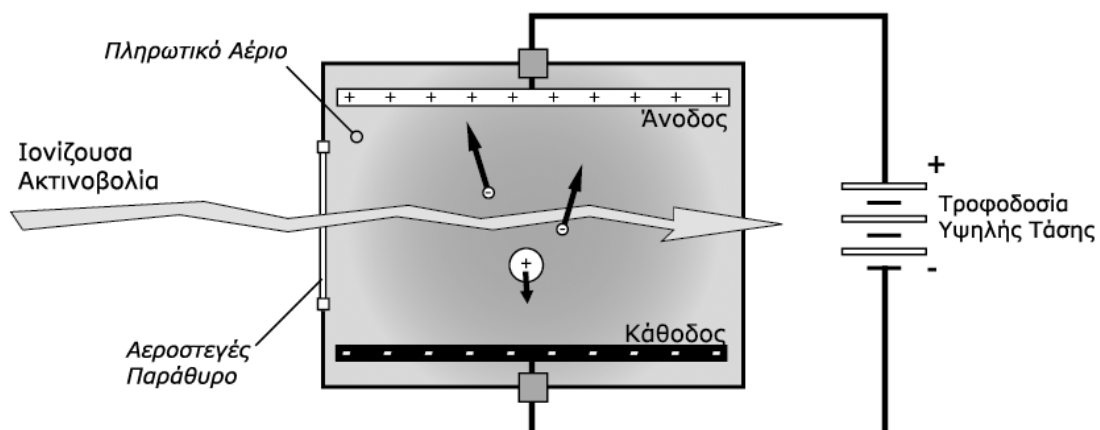
Πίνακας 2.2

Τεχνικά χαρακτηριστικά LM392N

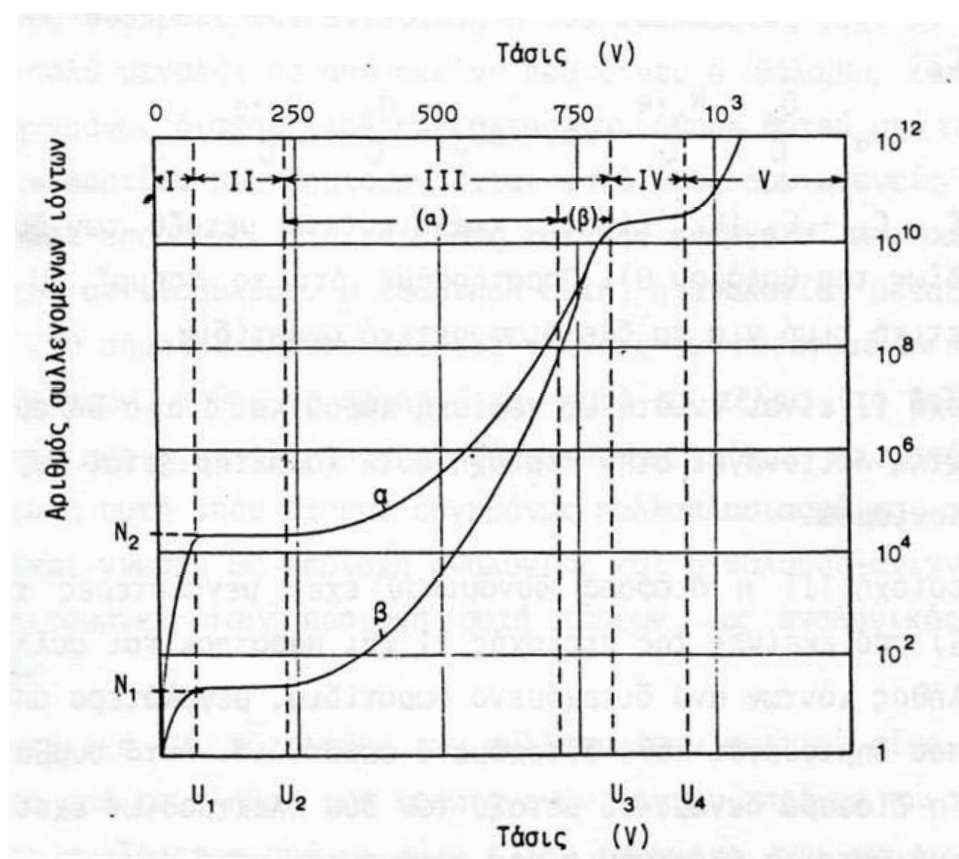
National Instruments LM392N pins	Τελεστικός Ενισχυτής	Συγκριτής	Επεξηγήσεις
			
1		Vout	Έξοδος Συγκριτή
2		V-	Αναστρέφουσα Είσοδος Συγκριτή
3		V+	Μη-Αναστρέφουσα Είσοδος Συγκριτή
4	VS-	VS-	Κοινή γείωση, (GND)
5	V+		Μη-Αναστρέφουσα Είσοδος Τελεστικού Ενισχυτή
6	V-		Αναστρέφουσα Είσοδος Τελεστικού Ενισχυτή
7	Vout		Έξοδος Τελεστικού Ενισχυτή
8	VS+	VS+	Κοινή Τροφοδοσία από μπαταρία, +9V

Πίνακας 2.3
Αντιστοιχίες ακροδεκτών LM392N

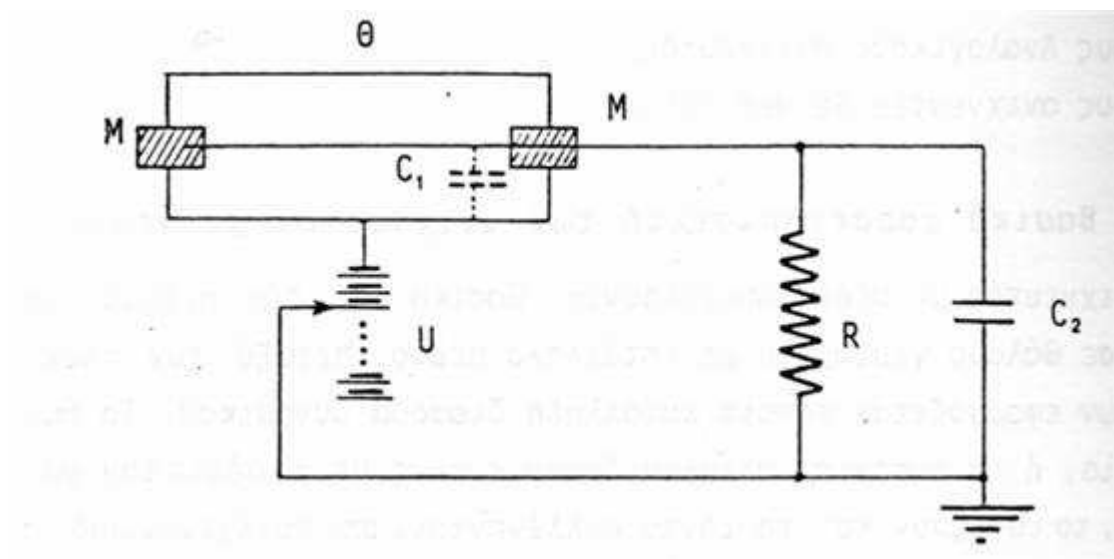
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ 2^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



Διάγραμμα 2.1
Αρχή λειτουργίας θαλάμου ιονισμού



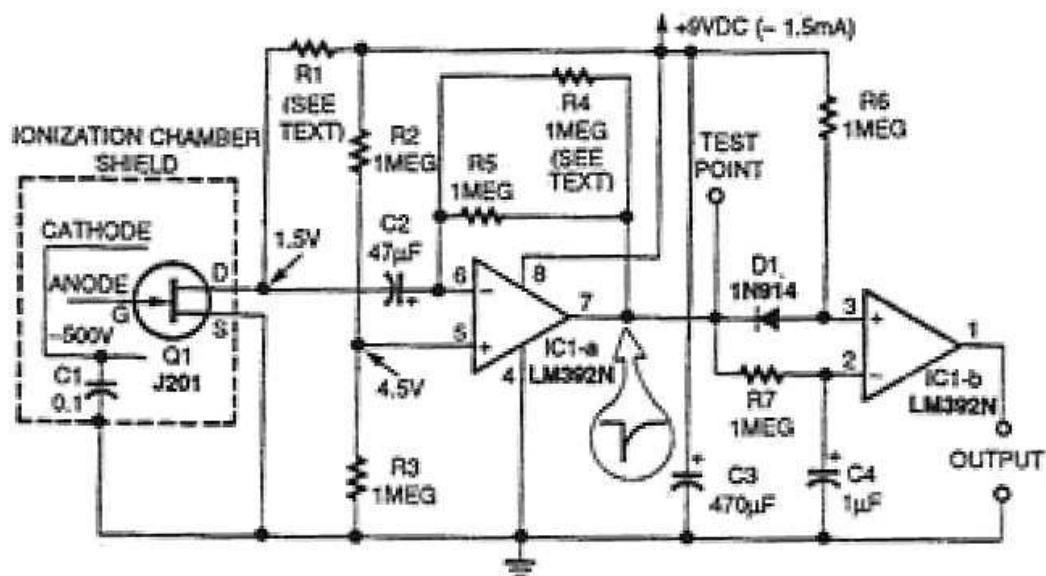
Διάγραμμα 2.2
Εξάρτηση αριθμού συλλεγομένων ιόντων και τάσης ηλεκτρικού πεδίου



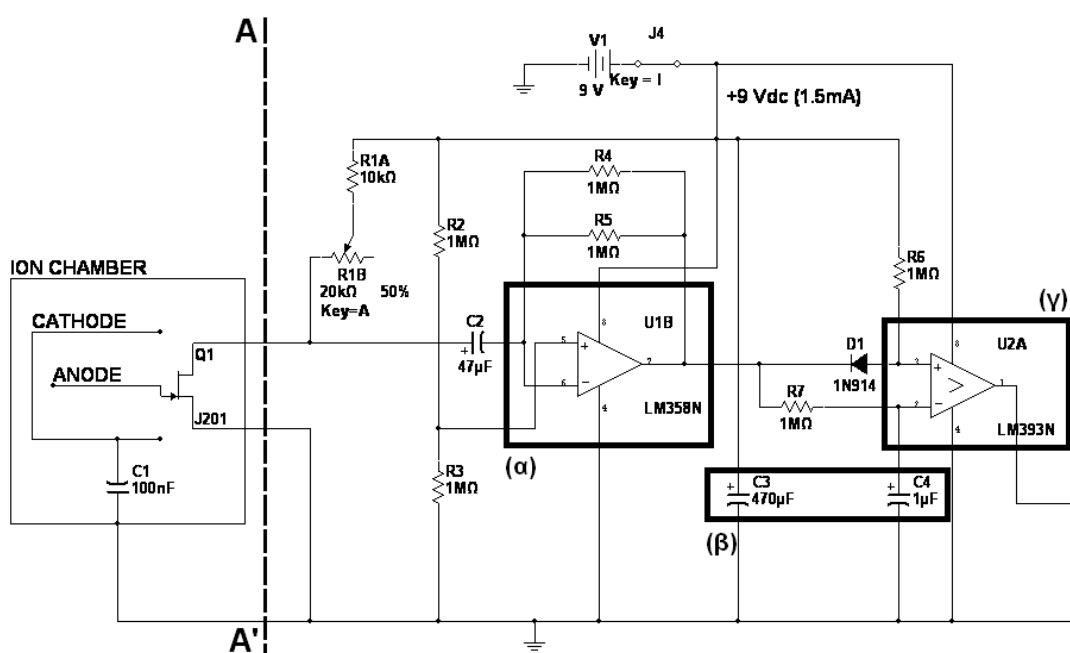
Διάγραμμα 2.3
Βασικά στοιχεία κυκλώματος ενός θαλάμου ιονισμού



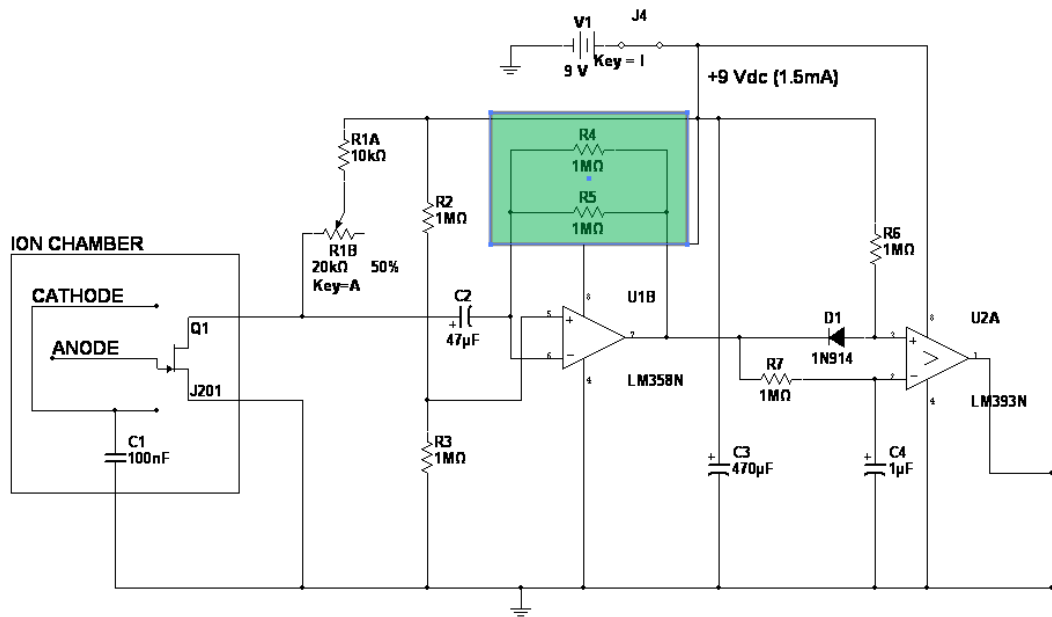
Διάγραμμα 2.4
Συσκευασία "CAPRICE ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ", 115g



Διάγραμμα 2.5
Ηλεκτρονικό κύκλωμα BERM, Neher (1994a)

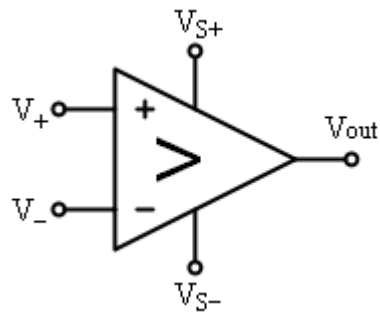


Διάγραμμα 2.6
Στοιχεία ηλεκτρονικού κυκλώματος BERM. (α) Τελεστικός Ενισχυτής, (β) Συγκριτής, (γ) Στοιχεία προστασίας από θόρυβο



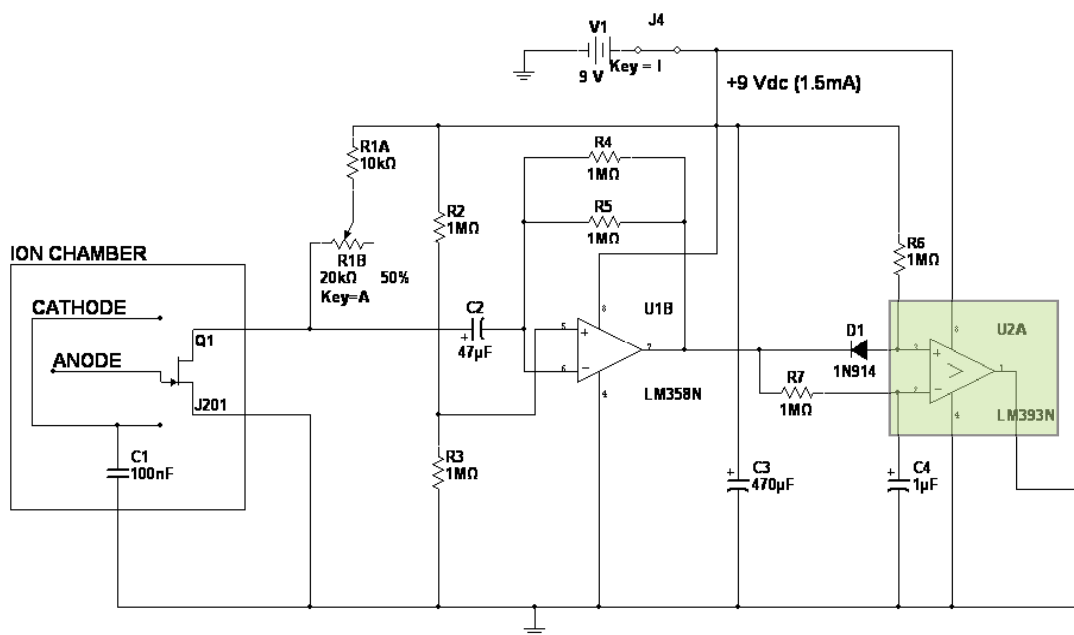
Διάγραμμα 2.10

Δίκτυο αντιστάσεων αρνητικής ανάδρασης στο κύκλωμα του BERM

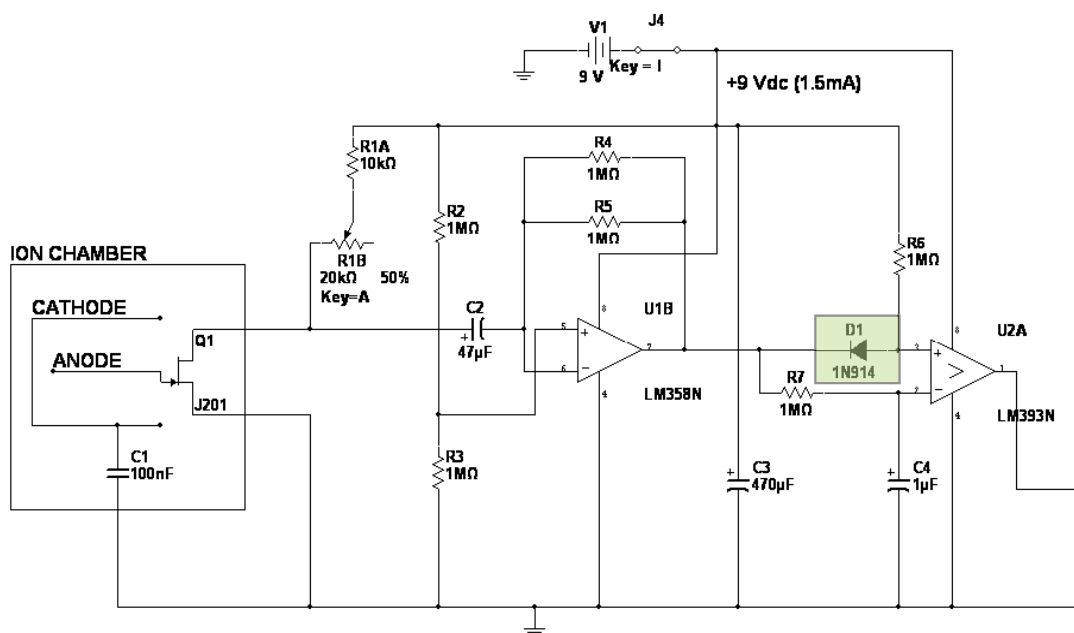


Διάγραμμα 2.11

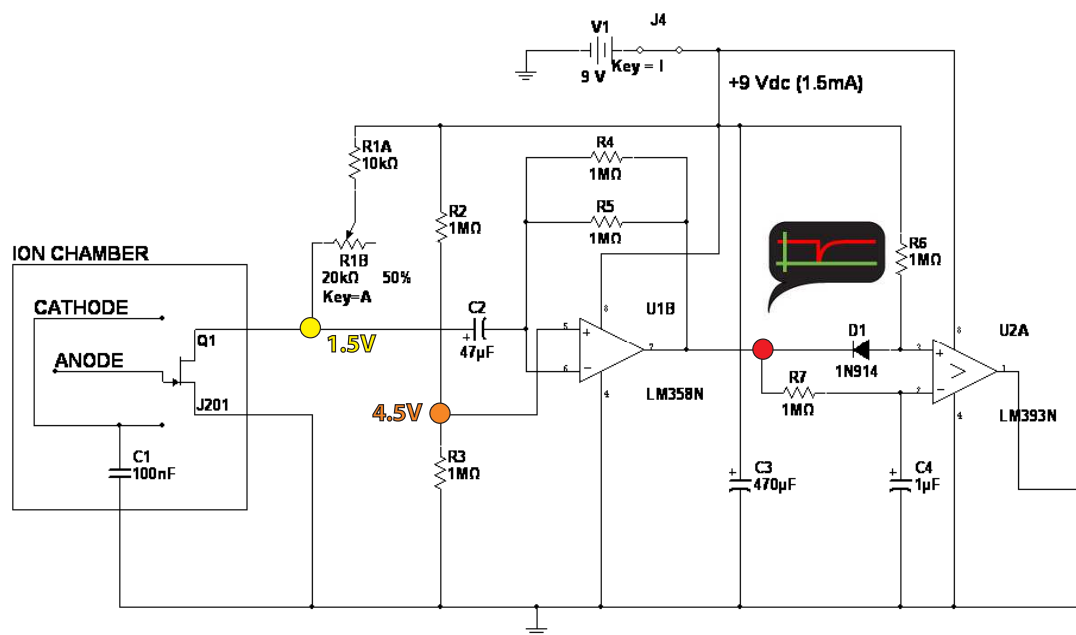
Σχηματικό διάγραμμα Συγκριτή



Διάγραμμα 2.12
Συγκριτής στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του BERM



Διάγραμμα 2.13
Ανορθωτική δίοδος



Διάγραμμα 2.14
Σημεία ελέγχου λειτουργίας κυκλώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ

3.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μία λεπτομερής προσομοίωση της λειτουργίας του ανιχνευτικού συστήματος, προκειμένου να διαπιστωθεί (α) ότι η συμπεριφορά του είναι σταθερή και αναμενόμενη όπως περιγράφεται από τον Neher (1994a), (β) ότι στα σημεία ελέγχου του κυκλώματος αναγνωρίζονται οι προβλεπόμενες τάσεις ή τα προβλεπόμενα σήματα και τέλος (γ) ότι μία προσομοίωση αλληλεπίδρασης τύπου ιονισμού στον ακροδέκτη G του JFET θα οδηγήσει στην αναμενόμενη ενίσχυση του παραγόμενου παλμού τάσης και στον επιτυχή διαχωρισμό του από τον θόρυβο. Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του ανιχνευτικού συστήματος, χρησιμοποιείται το παραθυρικό σχεδιαστικό πακέτο της National Instruments, NI Multisim 10.0.1 Student Edition with Multisim MCU Module and Ultiboard¹. Το πακέτο αυτό προσφέρει την δυνατότητα ηλεκτρονικής σχεδίασης κυκλωμάτων καθώς και προσομοίωσης της λειτουργίας τους. Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιασθεί βήμα-βήμα η δημιουργία του κυκλώματος του ανιχνευτικού συστήματος, επεξηγώντας τα βήματα που ακολουθήθηκαν.

3.2 Βασικά στοιχεία του Multisim

Όπως σχεδόν όλα τα παραθυρικά λογισμικά και ιδιαίτερα εκείνα που δεν διαθέτουν "γραμμή εντολών" (command line mode), έτσι και το πακέτο Multisim δέχεται εντολές με την βοήθεια "κεντρικής γραμμής εργαλείων", εικόνα της οποίας διακρίνεται στο Διάγραμμα 3.1. Επίσης ως παραθυρικό λογισμικό, το Multisim, έχει ενσωματώσει τα περισσότερα στοιχεία της ήδη καλώς διαμορφωμένης σχετικής κουλτούρας που επιτρέπουν απλές κοινές εργασίες (π.χ. εισαγωγή κειμένου, απλών σχημάτων κοκ) με βάση την παράδοση από περιβάλλοντα λειτουργικών συστημάτων της σειράς Mac ή της σειράς MS Windows ή με βάση περιβάλλοντα X-Windows (UNIX και Linux). Με σκοπό την ευκολότερη καταγραφή των βημάτων εικονικής χάραξης και προσομοίωσης του κυκλώματος σε Διαγράμματα, γίνεται χρήση του εργαλείου σύλληψης εικόνας [Capture screen area – copy as an image into the clipboard)], που παρέχεται από το πακέτο. Η συντόμευση του εργαλείου αυτού βρίσκεται στην κεντρική γραμμή εργαλείων (βλ. και Διάγραμμα 3.1). Στην ίδια γραμμή εργαλείων βρίσκονται πολλές συντομεύσεις τοποθέτησης εξαρτημάτων

¹ Άδεια που αγοράστηκε από τον επιβλέποντα, από το amazon.com. Είναι προφανές, ότι η άδεια αυτή δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα ΔΕ για εμπορικούς ή άλλους κερδοσκοπικούς σκοπούς.

οι οποίες είναι χρήσιμες κατά την σχεδίαση του κυκλώματος. Κατά το γνωστό τρόπο χρήσεως του "ποντικιού", με ένα "click" δίνεται πρόσβαση στα μενού τοποθέτησης εξαρτημάτων π.χ. Sources, Basic, Diodes, Transistors, Analog, TTL, CMOS, MCU, Advanced_Peripherals, Misc_Digital, Mixed, Indicators, Power, Misc, RF, τα οποία επεξηγούνται επαρκώς στη συνέχεια. Για την δημιουργία ενός καινούργιου ηλεκτρονικού σχεδίου, επιλέγεται το "κουμπί" "New" από την κεντρική γραμμή εργαλείων του προγράμματος. Με την επιλογή αυτή, ανοίγει μια αντίστοιχη επιφάνεια εργασίας, στην οποία μπορεί να ξεκινήσει η χάραξη του κυκλώματος και η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι βιβλιοθήκες εξαρτημάτων του προγράμματος περιέχουν χιλιάδες εξαρτήματα ταξινομημένα σε κατηγορίες. Από τις κατηγορίες αυτές επιλέγεται το κατάλληλο εξάρτημα και τοποθετείται στο σχέδιο με χρήση καταλλήλων menu και του ποντικιού. Η σύνδεση των εξαρτημάτων και η δημιουργία διαδρομών στην επιφάνεια εργασίας γίνονται με το ποντίκι, συνδέοντας τις εξόδους/εισόδους διαδοχικών εξαρτημάτων/κόμβων με κατάλληλες ευθείες γραμμές. Οι κυριότερες κατηγορίες εξαρτημάτων που διαθέτει το Multisim και διακρίνονται στην εικόνα του Διαγράμματος 3.2, είναι οι εξής:

- Sources: Πηγές: Πηγές τάσης και ρεύματος, πηγές σημάτων, αναλογικές και ψηφιακές πηγές, τριφασικές πηγές και αντίστοιχες γειώσεις.
- Basic: Βασικά εξαρτήματα: Διακόπτες, μετασχηματιστές, relays, πυκνωτές, αντιστάσεις, πηνία, ποτενσιόμετρα κ.α.
- Diodes: Δίοδοι, Zener, LED, Schottky, γέφυρες διόδων κ.α.
- Transistors: Darlington, MOSFET, JFET κ.α.
- Analog: αναλογικά κυκλώματα τελεστικών-ενισχυτών, συγκριτών κ.α.
- TTL
- CMOS
- MCU
- Advanced Peripherals: Πληκτρολόγια, οθόνες LCD κ.α.
- Misc Digital: Διάφορες ψηφιακές συσκευές, microprocessors, microcontrollers, μνήμες, πομποί, δέκτες κ.α.
- Mixed: Μεικτά αναλογικά-ψηφιακά κυκλώματα, χρονιστές (timers) 555, πολυταλαντωτές, ADC-DAC μετατροπείς κ.α.
- Indicators: Όργανα ενδείξεων, αμπερόμετρα, βολτόμετρα, ενδεικτικοί λαμπτήρες, βομβητές, οθόνες HEX κ.α.
- Power: Εξαρτήματα ισχύος: ρυθμιστές τάσης, ασφάλειες κ.α.
- Misc: Διάφορα εξαρτήματα γενικών χρήσεων, boost/buck converters, optocoupler, κρύσταλλοι κ.α.
- RF: Εξαρτήματα ραδιοεκπομπών

- Electro-Mechanical: Διακόπτες, ηλεκτροκινητήρες, γραμμικοί μετασχηματιστές κ.α.
- Διαγράμματα Ladder.

3.3 Εικονική χάραξη του ανιχνευτικού κυκλώματος

Αρχικά επιλέγεται η πηγή ισχύος του κυκλώματος από τη διαδρομή "Place/ Component/ Sources/ POWER_SOURCES/ DC_POWER/ OK" με χρήση του ποντικιού (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 3.3). Το ποντίκι μετατρέπεται σε μεταφορέα του εξαρτήματος "πηγή" στην επιφάνεια εργασίας και μπορεί να τοποθετήσει την πηγή (ή περισσότερες πηγές) σε αυτήν με ένα αριστερό "click" (ή με περισσότερα αριστερά "click"). Το ποντίκι επανέρχεται στις γνωστές του λειτουργικές ιδιότητες με το πλήκτρο ESC. Οι ιδιότητες της πηγής (V1), δηλώνονται με διπλό "click" πάνω της. Η τάση της πηγής ρυθμίζεται με αυτόν τον τρόπο ίση με 9V, όσο μιας κοινής μπαταρίας εμπορίου, σύμφωνα και με τις σχετικές προδιαγραφές του κυκλώματος που παρουσιάστηκαν στο 2^ο Κεφάλαιο (βλ. και τις σχετικές εικόνες των Διαγραμμάτων 3.4 και 3.5). Σε σειρά με την πηγή τοποθετείται ένας διακόπτης (J1), ο οποίος θα ελέγχει την τροφοδοσία του κυκλώματος με τάση. Από τη διαδρομή "Place/ Component/ Basic/ Switch/ ... ", εντοπίζεται ο επιθυμητός διακόπτης "J1" και τοποθετείται στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος με χρήση του ποντικιού όπως προηγούμενα (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.6). Οι ιδιότητες του διακόπτη (J1), δηλώνονται με διπλό "click" πάνω του. Επιλέγεται η ιδιότητα "key = I", που σημαίνει ότι ο διακόπτης αυτός θα ελέγχεται για τους σκοπούς της προσομοίωσης, από το πλήκτρο του πληκτολογίου "I". Στον θετικό πόλο της πηγής τοποθετείται μία αντίσταση R1, ως άθροισμα των αντιστάσεων R1A και R1B. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης επιλέχθηκε η τιμή της R1A = 5 kΩ, σε αντίθεση με όσα αναφέρονται για την τιμή της R1A (=10kΩ) στο 2^ο Κεφάλαιο, έτσι ώστε να καλυφθεί μεγαλύτερο εύρος ρύθμισης, επιτρέποντας στην R1 (=R1A+R1B) να πάρει τιμές και κάτω από τα 10 kΩ. Από τις δύο αυτές αντιστάσεις η R1B έχει δυνατότητα ρύθμισης (είναι δηλαδή trimmer /."τριμεράκι") στην περιοχή από ~0 έως 22 kΩ, η οποία απαιτείται, όπως έχει εξηγηθεί στο προηγούμενο Κεφάλαιο για τη ρύθμιση του κατάλληλου δυναμικού στον ακροδέκτη D του JFET. Οι δύο αυτές αντιστάσεις σε σειρά επιτρέπουν τη ρύθμιση της αντίστασης R1 στην περιοχή από ~5 έως και 27 kΩ. Η συνιστώμενη τιμή ρύθμισης από τον Neher (1994a) για την αντίσταση R1 είναι μεταξύ 10 και 33 kΩ, αλλά η ακριβής τιμή (π.χ. 22 kΩ, όπως στην εικόνα του Διαγράμματος 2.14) πρέπει να επιλεγεί με προσομοίωση και πείραμα, με τρόπο που θα περιγραφεί στο παρόν αλλά και στο επόμενο 4^ο Κεφάλαιο αντίστοιχα.

Φυσικά, ο ανιχνευτής ιονισμού BERM, δεν μπορεί να είναι τυποποιημένο εξάρτημα από τις βιβλιοθήκες του Multisim. Κατά συνέπεια, για λόγους πληρότητας του εικονικού σχεδίου πρέπει να σχεδιασθεί στην επιφάνεια εργασίας από την αρχή. Το πακέτο Multisim προσφέρει την δυνατότητα εισαγωγής σχημάτων στο σχέδιο του κυκλώματος. Το μενού για την εισαγωγή σχημάτων ανοίγει με δεξί "click" στην επιφάνεια εργασίας (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.7). Επιλέγοντας "Rectangle", σχεδιάζεται το εικονικό πλαίσιο το οποίο οριοθετεί τον θάλαμο ιονισμού (ION CHAMBER) (βλ. και τις διαδοχικές εικόνες στα Διαγράμματα 3.7 και 3.8).

Τα εξαρτήματα τα οποία συνθέτουν τον θάλαμο ιονισμού είναι ιδιαίτερα απλά. Ο θάλαμος αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (CATHODE & ANODE), φορτισμένα με αντίθετα φορτία και ένα N-JFET τρανζίστορ (το JFET τύπου J201 όπως αναφέρθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο). Το τρανζίστορ αυτό τοποθετείται μέσα από εύρεση στη διαδρομή "Place/ Component/ Transistors/ JFET_N/ J201" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.9). Η μορφή του κυκλώματος του θαλάμου ιονισμού, χαραγμένη με ευθύγραμμα τμήματα χωρίς ηλεκτρονική σημασία για την προσομοίωση μπορεί να είναι αυτή που διακρίνεται στην εικόνα του Διαγράμματος 3.10. Για να ολοκληρωθεί ο θάλαμος ιονισμού, πρέπει, σύμφωνα με το πρωτότυπο σχέδιο (βλ. και στο 2^ο Κεφάλαιο), το μεταλλικό του εξωτερικό κέλυφος να γειωθεί. Για να προστεθεί η απαιτούμενη γείωση, θα πρέπει να επιλεγθεί η κατάλληλη γείωση "GROUND" από τη διαδρομή "Place/ Component/ Sources/ POWER_SOURCES" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.11) και να τοποθετηθεί στην επιφάνεια εργασίας του Multisim με αριστερό "click", κατά τα γνωστά. Στο στάδιο αυτό το εικονικά χαραγμένο κύκλωμα του ανιχνευτικού μας συστήματος θα έχει τη μορφή της εικόνας του Διαγράμματος 3.12.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι μεταξύ καθόδου του θαλάμου και γείωσης χρειάζεται σύμφωνα με το πρωτότυπο σχέδιο (βλ. και στο 2^ο Κεφάλαιο), να συνδεθεί ένας πυκνωτής (C1) χωρητικότητας τάξης μεγέθους 0.1 μF , ο οποίος να διατηρεί την διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων του θαλάμου ιονισμού σταθερή στα 500V, ώστε να δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες για ιονισμό. Παρόλα αυτά, το πακέτο σχεδίασης και προσομοίωσης Multisim δεν προσφέρει την δυνατότητα προσομοίωσης φορτισμένου θαλάμου ιονισμού όπως έχει εισαχθεί ως ηλεκτρονικό στοιχείο του κυκλώματος, γεγονός που καθιστά άνευ σημασίας την εισαγωγή στοιχείου που θα φέρει την τάση των 500V. Επομένως η τοποθέτηση του εν λόγω πυκνωτή (C1) στο κύκλωμα είναι αδιάφορη για την προσομοίωση, αλλά τοποθετείται σχηματικά για να εξυπηρετήσει την πληρότητα της γραφικής παράστασης του συνολικού κυκλώματος. Η επιλογή του πυκνωτή γίνεται από τη

διαδρομή "Place/ Component/ Basic/ Capacitor", σύμφωνα και με την εικόνα του Διαγράμματος 3.13. Η τιμή του πυκνωτή επιλέγεται πληκτρολογώντας την κατάλληλη τιμή στο αντίστοιχο ανοιχτό πεδίο και ο πυκνωτής τοποθετείται στην επιφάνεια εργασίας του Multisim με αριστερό "click", κατά τα γνωστά. Οι ιδιότητες του πυκνωτή, δηλώνονται με διπλό "click" πάνω του (βλ και την εικόνα του Διαγράμματος 3.14). Αν και το σχεδιαστικό πακέτο Multisim δεν μπορεί να αποδώσει το ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φορτισμένου θαλάμου ιονισμού (φόρτιση σε υψηλή τάση χωρίς την δυνατότητα εκφόρτισης), έχει την δυνατότητα να αποδώσει τα πυκνωτικά χαρακτηριστικά του. Ένας θάλαμος ιονισμού, όπως εξηγήθηκε και στην θεωρία του 2^{ου} Κεφαλαίου, έχει την συμπεριφορά ενός αερόφυλλου πυκνωτή. Στην ανιχνευτική διάταξη BERM, ο θάλαμος ιονισμού της συγκεκριμένης γεωμετρίας και όγκου εκτιμήθηκε από τον Neher (1994a) ότι θα εμφανίσει χωρητικότητα περίπου 7 pF, [προκαταρκτικοί έλεγχοι και υλοποιήσεις των Cheung (1995, 2009) και DiMauro (2009), τοποθετούν την τιμή αυτή σε 6.8 pF]. Γιαυτόν τον λόγο, τοποθετείται μεταξύ ανόδου και καθόδου, ο πυκνωτής C_CHAMBER, με χωρητικότητα αυτήν της αναμενόμενης, 6.8 pF (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.15)

Συνεχίζοντας την εικονική χάραξη του κυκλώματος, τοποθετούνται τα αναλογικά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το επιλεγμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα LM392N το οποίο προτείνεται από τον Neher (1994a) δεν υπάρχει στις βιβλιοθήκες εξαρτημάτων του Multisim. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 με τις προδιαγραφές του ολοκληρωμένου LM392N, το κύκλωμα αυτό αποτελείται από δύο υποκυκλώματα: αυτό ενός τελεστικού ενισχυτή LM358N και ενός συγκριτή LM393N. Για την προσομοίωση λοιπόν θα χρησιμοποιηθούνε αυτά τα δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα που πράγματι υπάρχουν στις σχετικές βιβλιοθήκες. Από τη διαδρομή "Place/ Component/ Analog/ OPAMP ή COMPARATOR" αντίστοιχα, επιλέγονται και τοποθετούνται στην επιφάνεια εργασίας του Multisim ο TE LM358N και ο συγκριτής LM393N (βλ. και τις εικόνες των Διαγραμμάτων 3.16 και 3.17). Στο στάδιο αυτό το εικονικά χαραγμένο κύκλωμα του ανιχνευτικού μας συστήματος θα έχει τη μορφή της εικόνας του Διαγράμματος 3.18. Κάνοντας "click" στους ακροδέκτες του TE και του συγκριτή γίνεται δυνατή η σύνδεση των ολοκληρωμένων αυτών με το υπόλοιπο κύκλωμα σύμφωνα και με το πρωτότυπο σχέδιο (βλ. και στο 2^ο Κεφάλαιο). Οι ακροδέκτες 8 και 4 είναι οι ακροδέκτες V_{S+} και V_{S-} του τελεστικού ενισχυτή και του συγκριτή ομοίως. Οι ακροδέκτες 2 και 3 είναι οι ακροδέκτες V_- και V_+ του συγκριτή και οι ακροδέκτες 5 και 6 είναι οι ακροδέκτες V_+ και V_- του τελεστικού ενισχυτή (βλ. και στο 2^ο Κεφάλαιο και στον Πίνακα 2.3).

Με τον ίδιο τρόπο με τον οποίον τοποθετήθηκαν τα προηγούμενα εξαρτήματα, τοποθετούνται σε σειρά με τα αναλογικά ολοκληρωμένα ένας πυκνωτής και μια δίοδος 1N914 ("Place Diodes/ DIODE/ 1N914") Προστίθεται επίσης μια αντίσταση pull-up τιμής 10kΩ (R9) στην έξοδο του Συγκριτή έτσι ώστε να εξασφαλίζει την μεγάλη πτώση τάσης κάθε φορά που ανιχνεύεται παλμός –βλ. και τις εικόνες των Διαγραμμάτων 3.19 και 3.20. Τέλος, η τοποθέτηση των υπολοίπων εξαρτημάτων του ηλεκτρονικού κυκλώματος γίνεται σύμφωνα με τα όσα έχουν επεξηγηθεί μέχρι στιγμής με κανόνα το σχέδιο του Διαγράμματος 2.14. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα του Διαγράμματος 3.20. Οι τιμές των αντιστάσεων R2, R3, R6 και R7 (=1MΩ), λήφθηκαν από το πρωτότυπο σχέδιο του Neher (1994a), όπως αυτό παρουσιάστηκε στο 2^ο Κεφάλαιο. Παρόλα αυτά, κατά την τελική κατασκευή του ηλεκτρονικού κυκλώματος (βλ. και στο επόμενο 4^ο Κεφάλαιο) οι τιμές αυτές είναι δυνατόν να τροποποιηθούν σε χαμηλότερες, προκειμένου να εξυπηρετήσουν καλύτερα τη ρύθμιση διαιρέσεων τάσης στα αντίστοιχα σημεία του κυκλώματος. Μικρότερες τιμές των υπόψιν αντιστάσεων οδηγούν σε μεγαλύτερη ροή ρεύματος, η οποία καλύπτει τυχόν αυξημένες εσωτερικές αντιστάσεις στα εσωτερικά κυκλώματα του Τελεστικού Ενισχυτή και του Συγκριτή, που δεν λαμβάνονται υπόψιν στην προσομοίωση με το Multisim. Έτσι στην πραγματική κατασκευή, οι τιμές της τάσης που ονομαστικά υπάρχουν στα άκρα αυτών των αντιστάσεων αναγνωρίζονται ευκολότερα, όπου χρειάζεται, από τον Τελεστικό Ενισχυτή και τον Συγκριτή.

3.4 Έλεγχος κυκλώματος με εικονικά όργανα

Για την καλύτερη εποπτεία και τον έλεγχο της καλής λειτουργίας του κυκλώματος ο Neher (1994a), σύμφωνα με αυτά που σημειώνονται και στο 2^ο Κεφάλαιο, συστήνει να γίνονται μετρήσεις σε κατάλληλα σημεία ελέγχου (test points) σε εύκολα προσβάσιμες θέσεις. Στο σχήμα του Διαγράμματος 2.14, διακρίνονται τρία τέτοια σημεία ελέγχου της ορθής λειτουργίας του ηλεκτρονικού κυκλώματος. Τα σημεία αυτά είναι ο απαγωγός D του JFET (πρέπει να είναι +1.5V), η είσοδος V+ του TE (πρέπει να είναι +4.5V) και η έξοδος Vout του TE (πρέπει εκεί να ανιχνεύονται από παλμογράφο αρνητικοί παλμοί, που οφείλονται σε θόρυβο ή/και ιονισμούς). Ένα επιπλέον σημείο ελέγχου που μπορεί να προστεθεί πέρα από αυτά είναι και η παρακολούθηση της εξόδου του συγκριτή. Αν στην έξοδο αυτή δεν ανιχνεύεται τάση, σημαίνει ότι γενικά το κύκλωμα δεν λειτουργεί. Αν στην έξοδο αυτή παρατηρείται σταθερή τάση ~4.5 V, σημαίνει ότι το κύκλωμα λειτουργεί αλλά δεν ανιχνεύονται –α σωματίδια. Στην περίπτωση αυτή η σταθερή τάση θα παρατηρηθεί μόνο όταν έχει αυτοπολωθεί το JFET και γενικά έχουν φορτισθεί οι πυκνωτές του κυκλώματος. Αν, τέλος στην έξοδο αυτή παρατηρούνται αρνητικοί

τετραγωνικοί παλμοί με ύψος $-4.5V$, σημαίνει ότι το κύκλωμα λειτουργεί και ανιχνεύονται $-a$ σωματίδια.

Όπως και όλα τα υπόλοιπα, έτσι και τα σημεία ελέγχου καλό είναι να προσομοιώνονται και αυτά εικονικά στην επιφάνεια εργασίας του Multisim. Για το σκοπό αυτό μπορούν να εισαχθούν στην επιφάνεια εργασίας εικονικά όργανα. Στο Multisim υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες μορφές οργάνων (βολτόμετρα, αμπερόμετρα, παλμογράφοι κ.ο.κ.). Στην εδώ εφαρμογή προκρίθηκαν να χρησιμοποιηθούν μόνο δύο είδη οργάνων για τα σημεία ελέγχου για λόγους ευκολίας και αποτελεσματικότητας: ο εικονικός παλμογράφος (oscilloscope) και το εικονικό πολύμετρο (measurement probe).

Η τοποθέτηση του παλμογράφου γίνεται μέσω της διαδρομής "Simulate/ Instruments/ Oscilloscope" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.21). Ο παλμογράφος αυτός θεωρείται ότι είναι ένας αναλογικός παλμογράφος 2 καναλιών. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις απλών εξαρτημάτων, η τοποθέτηση του παλμογράφου γίνεται με το ποντίκι. Η σύνδεσή του με το υπόλοιπο κύκλωμα γίνεται παράλληλα μέσω των 4 εισόδων του, 2 για κάθε κανάλι (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.22). Η "οθόνη" του παλμογράφου προς το φυσικό κόσμο, ανοίγει με διπλό κλικ πάνω στον παλμογράφο (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.23).

Η τοποθέτηση του πολυμέτρου γίνεται μέσω της διαδρομής "Simulate/ Instruments/ Measurement Probe" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.24). Το πολύμετρο αυτό μεταξύ άλλων έχει την ικανότητα μέτρησης τάσεων και εντάσεων ρεύματος συνεχούς και εναλλασσόμενου, καθώς και συχνότητας. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις απλών εξαρτημάτων, η τοποθέτηση του πολυμέτρου γίνεται με το ποντίκι. Η σύνδεσή του με το υπόλοιπο κύκλωμα γίνεται "σε σειρά" με απλό "click" πάνω στον αγωγό του κυκλώματος του οποίου επιθυμείται ο έλεγχος. Ας σημειωθεί ότι το εικονικό πολύμετρο έχει προσημασμένη φορά, η οποία μπορεί να αντιστραφεί αναλόγως των απαιτήσεων. Οι πληροφορίες του πολυμέτρου προς το φυσικό κόσμο, δίνονται σε ειδικό μικρό παράθυρο κίτρινου χρώματος. (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.25).

Για να αποδώσουν τα εικονικά όργανα μετρήσεις και αποτελέσματα θα πρέπει το ηλεκτρονικό κύκλωμα να τεθεί σε εικονική λειτουργία δηλαδή σε "προσομοίωση". Αν δεν έχει ήδη γίνει πρέπει σε αυτό το σημείο και προτού ξεκινήσει η όποια προσομοίωση το κύκλωμα να "σωθεί" με τη βοήθεια της επιλογής "File/ Save As ..." ως αρχείο Multisim με προέκταση ".ms10".

3.5 Προσομοίωση

3.5.1 Γενικά

Στην εικονική λειτουργία του κυκλώματος με την βοήθεια του λογισμικού Multisim, μπορεί να μελετηθεί η χρονική απόκρισή του σε οποιοδήποτε σημείο του και η ειδικότερα στα προτεινόμενα από τον Neher (1994a) σημεία ελέγχου. Η μελέτη αυτή πρέπει να γίνει για δύο περιπτώσεις: (α) για την περίπτωση που ο ανιχνευτής BERM δεν προσβάλλεται από -α σωματίδια, η οποία στο εξής θα ονομάζεται παθητική λειτουργία ανιχνευτή και (β) για την περίπτωση που ανιχνευτής προσβάλλεται από -β σωματίδια, η οποία θα ονομάζεται στο εξής, ενεργητική λειτουργία. Για την ρύθμιση της εικονικής λειτουργίας του κυκλώματος πρέπει να δοθούν τιμές σε ορισμένες παραμέτρους του Multisim μέσα από κατάλληλες καρτέλες επιλογής. Είναι προφανές ότι οι τιμές αυτές κατ'αρχήν θα αφορούν χρονικές παραμέτρους ρύθμισης και κατά δεύτερον άλλες, όπως π.χ. οι ανοχές ακρίβειας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του κυκλώματος, η θερμοκρασία λειτουργίας κλπ, με την βοήθεια των οποίων μπορεί να βελτιωθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Η ρύθμιση των παραμέτρων της προσομοίωσης στο Multisim γίνεται από την διαδρομή "Simulate/ Interactive Simulation Settings" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.26). Από την καρτέλα "Defaults for Transient Analysis Instruments" ορίζεται η αρχή και το χρονικό τέλος της προσομοίωσης, καθώς και το μέγιστο βήμα υπολογισμού. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή, μετά από δοκιμές κρίνεται επαρκές μέγιστο βήμα 1 msec (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.27). Με τον ορισμό της θερμοκρασίας λειτουργίας λαμβάνεται υπόψιν κατά την προσομοίωση η θερμική συμπεριφορά των στοιχείων του κυκλώματος. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας λειτουργίας μπορεί να γίνεται από την επιλογή "Customize" της καρτέλας "Analysis Options" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.28). Στην εδώ περίπτωση η προεπιλεγμένη τιμή των 25° C, κρίνεται ότι είναι η κατάλληλη (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.29). Η ρύθμιση των παραμέτρων που αφορούν στις ανοχές των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μπορεί να γίνει στην ίδια καρτέλα. Γενικά σε σχέση με τις επιλογές της καρτέλας "Analysis Options" πρέπει να σημειωθεί ότι οι προρυθμισμένες (Default) τιμές του λογισμικού Multisim, κρίνονται κατάλληλες για τις προσομοιώσεις απλών κυκλωμάτων όπως αυτό που έχει εισαχθεί στο λογισμικό Multisim για το ανιχνευτικό κύκλωμα BERM.

3.5.2 Προσομοίωση παθητικής λειτουργίας

Όπως σημειώθηκε ήδη η προσομοίωση του κυκλώματος χωρίζεται σε δύο φάσεις. Στη πρώτη φάση της παθητικής λειτουργίας μελετάται η λειτουργία του

κυκλώματος του ανιχνευτικού θαλάμου BERM κατά την οποία δεν υπάρχουν –α σωματίδια προς ανίχνευση. Το ενδιαφέρον της προσομοίωσης συγκεντρώνεται στο να διαπιστωθεί ότι το κύκλωμα του ανιχνευτικού συστήματος λειτουργεί σε κατάσταση ηρεμίας σύμφωνα με όσα αναμένονται από την θεωρία. Κατά τη φάση αυτή πρέπει να εξακριβώνεται ότι τα σημεία ελέγχου (test points) του κυκλώματος, δίνουν τις αναμενόμενες τιμές. Αφού ορισθούν οι επιθυμητές τιμές των παραμέτρων της προσομοίωσης σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, δίνεται η εντολή έναρξης της προσομοίωσης μέσω της διαδρομής "Simulate/ Run".

Η οθόνη του εικονικού παλμογράφου –ένα κανάλι από τα δύο του οποίου είναι συνδεδεμένο στο κατάλληλο σημείο ελέγχου του ανιχνευτή BERM, στην έξοδο Vout του TE, όπως ήδη σημειώθηκε σε προηγούμενη παράγραφο- αποτελεί το βασικότερο όργανο εποπτείας της κατάστασης του κυκλώματος (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.22). Υπενθυμίζεται ότι η πρόσβαση στην "οθόνη" του εικονικού παλμογράφου στο Multisim γίνεται με διπλό "κλικ" πάνω στο εικονίδιο του οργάνου στην επιφάνεια εργασίας του Multisim. Από την παρατήρηση της οθόνης αυτής μπορεί να διαπιστωθεί ότι σε επίπεδο υπολογισμών προσομοίωσης το JFET, χρειάζεται περίπου 17 δευτερόλεπτα για να πολωθεί πλήρως, στιγμή κατά την οποία το δυναμικό σε αυτό το σημείο ελέγχου του κυκλώματος φτάνει στα αναμενόμενα επίπεδα της μισής τάσης τροφοδοσίας (περίπου 4.5 V, όπως εξηγήθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο, βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.30). Αυτό ερμηνεύεται διότι η διαδικασία της αυτοπόλωσης του JFET, είναι ένα δυναμικό φαινόμενο, το οποίο χρειάζεται χρόνο για να εξελιχθεί και να σταθεροποιηθεί. Μάλιστα ο Neher (1994a) επισημαίνει ότι αυτός ο χρόνος στην πραγματικότητα μπορεί να είναι "μερικά λεπτά" και συστήνει ότι η σταθεροποίηση του κυκλώματος είναι πιο βέβαιη μετά από πάροδο πέντε - δέκα λεπτών.

Επιπλέον, στην προσομοίωση παθητικής λειτουργίας χρησιμοποιείται στο κατάλληλο σημείο ελέγχου και το εικονικό πολύμετρο (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.25). Με τη βοήθεια του εικονικού πολυμέτρου επιτηρείται η διαφορά δυναμικού μεταξύ της γείωσης και του ακροδέκτη D του JFET (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.20 για τους ακροδέκτες του JFET). Όπως σημειώθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο αυτή θα πρέπει να είναι γύρω στα 1.5 V έτσι ώστε η αυτοπόλωση στην πύλη G να αποδίδει τη μέγιστη δυνατή ενίσχυση του εισερχόμενου παλμού ρεύματος ο οποίος οφείλεται στους ιονισμούς που μπορεί να δημιουργήσει ένα –α σωματίδιο. Αφού σε επίπεδο προσομοίωσης παθητικής λειτουργίας σταθεροποιηθεί η αυτοπόλωση του JFET είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η κατάλληλη τιμή για την αντίσταση R1 ώστε η διαφορά δυναμικού μεταξύ της γείωσης και του ακροδέκτη D

του JFET να πάρει την επιθυμητή τιμή του 1.5 V. Όπως πολλές φορές αναφέρθηκε, ο Neher (1994a) σημειώνει ότι με JFET τύπου J201, η τιμή της συνολικής αντίστασης R1 (δηλ. των R1A και R1B συνδεδεμένων σε σειρά) μεταξύ πηγής τάσης και ακροδέκτη D του JFET θα πρέπει να είναι μεταξύ 10 και 33 kΩ προκειμένου να επιτευχθεί η υπόψιν διαφορά δυναμικού. Τελικά, μέσω της προσομοίωσης, προσδιορίζεται ότι η διαφορά δυναμικού 1.5 V επιτυγχάνεται αν η ρυθμιζόμενη αντίσταση R1B πάρει την τιμή ~5.3 kΩ, δηλαδή αν η αντίσταση R1 πάρει την τιμή 10 kΩ. Παρόλο το εύλογο αποτέλεσμα της προσομοίωσης τονίζεται ότι η τιμή της αντίστασης R1B, πρέπει τελικά να επιλεχθεί πειραματικά σύμφωνα και με τα όσα θα αναφερθούν στο επόμενο 4^ο Κεφάλαιο. Εκτιμάται ότι αν η αντίσταση R1 είναι καλώς ρυθμισμένη, το απαιτούμενο 1.5 V θα διαπιστώνεται στο κύκλωμα χωρίς να χρειάζεται μεγάλος χρόνος σταθεροποίησης, δηλαδή σχετικά άμεσα, τόσο στο εικονικό όσο και στο πραγματικό κύκλωμα.

Με τη βοήθεια του εικονικού πολυμέτρου επιτηρείται επίσης η διαφορά δυναμικού μεταξύ της γείωσης και της μη-αναστρέφουσας εισόδου V_+ του TE. Η τάση εκεί θα πρέπει να είναι ίση με την μισή της τάσης τροφοδοσίας (4.5 V στην περίπτωση τροφοδοσίας με μπαταρία 9 V), αφού ο ακροδέκτης αυτός είναι συνδεδεμένος σε δύο ίσες αντιστάσεις οι οποίες λειτουργούν ως διαιρέτης τάσης. Τυχόν άλλη τιμή της τάσης, εκτός από αυτήν της μισής τάσης τροφοδοσίας, υποδεικνύει κατασκευαστικό σφάλμα στο κύκλωμα. Και σε αυτή την περίπτωση τα απαιτούμενα 4.5 V θα πρέπει να διαπιστώνονται άμεσα στο αντίστοιχο σημείο ελέγχου, τόσο στο εικονικό όσο και στο πραγματικό κύκλωμα.

Το δεύτερο κανάλι του εικονικού παλμογράφου αν συνδεθεί στο τελευταίο σημείο ελέγχου, δηλαδή στην έξοδο του Συγκριτή, βοηθάει στην εκτίμηση της καλής λειτουργίας του κυκλώματος κατά την προσομοίωση παθητικής λειτουργίας. Από την παρατήρηση του καναλιού αυτού διαπιστώνεται ότι η σταθεροποίηση της λειτουργίας του κυκλώματος επέρχεται τελικά όταν σταθεροποιηθεί το δυναμικό στην έξοδο του Συγκριτή. Σε επίπεδο προσομοίωσης, αυτό το χρονικό διάστημα προσδιορίζεται γύρω στα 20 sec (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.31). Επισημαίνεται ότι στην πραγματικότητα, κυρίως λόγω του θορύβου από το περιβάλλον τον οποίο θα λαμβάνουν μέσω του JFET ο ενισχυτής και ο Συγκριτής, ο χρόνος αυτός αναμένεται να είναι σημαντικά μεγαλύτερος.

Αν σε επίπεδο προσομοίωσης παθητικής λειτουργίας, μετά την επίτευξη μόνιμης κατάστασης του κυκλώματος, όλα τα σημεία ελέγχου του κυκλώματος βρίσκονται σε δυναμικό το οποίο συμφωνεί με τα αναμενόμενα, τότε γίνεται φανερό ότι το κύκλωμα λειτουργεί σωστά. Έχοντας εξασφαλίσει την σωστή παθητική λειτουργία του κυκλώματος, μπορεί κάποιος να προχωρήσει στην μελέτη της ενεργητικής

λειτουργίας του και πάλι με τη βοήθεια προσομοίωσης. Στο σημείο αυτό πρέπει πάντως να τονισθεί ότι η προσομοίωση παθητικής λειτουργίας όπως πραγματοποιήθηκε παρουσιάζει την εξής κύρια αδυναμία ότι δεν μπορεί να προσομοιώσει τον θάλαμο ιονισμού, ως πυκνωτή χωρητικότητας περί τα 7pF, ο οποίος παραμένει σε τάση 500V και δεν εκφορτίζεται παρόλο που και οι δύο πόλοι του είναι συνδεδεμένοι με το κύκλωμα. Αυτό στην πραγματικότητα γίνεται διότι ο θάλαμος ιονισμού ως πυκνωτής δεν μπορεί να εκφορτισθεί αφού τα ηλεκτρόδια του απέχουν πολύ και περιβάλλονται από αέρα που δεν άγει. Για την προσομοίωση ενός τέτοιου πυκνωτή θα πρέπει να προγραμματισθεί τέτοιο ηλεκτρονικό εξάρτημα με αυτά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά από τον χρήστη του πακέτου Multisim, στην ειδική για αυτό το σκοπό γλώσσα προγραμματισμού του Multisim, την SPICE. Τέτοιος προγραμματισμός, δεν ήταν στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας και δεν πραγματοποιήθηκε. Στην υπόψιν αδυναμία μπορεί να οφείλεται και η σαφής υποεκτίμηση του χρόνου εξισορρόπησης λειτουργίας του κυκλώματος σε μερικά δευτερόλεπτα, έναντι του χρόνου που αναφέρεται από τον Neher (1994a).

3.5.3 Προσομοίωση ενεργητικής λειτουργίας

Σε αυτήν την ενότητα μελετάται η λειτουργία του κυκλώματος του ανιχνευτικού θαλάμου BERM κατά την οποία υπάρχουν –α σωματίδια προς ανίχνευση. Η λειτουργία αυτή, όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω καλείται "ενεργητική λειτουργία". Το ενδιαφέρον της προσομοίωσης ενεργητικής λειτουργίας, συγκεντρώνεται στο να διαπιστωθεί ότι το κύκλωμα του ανιχνευτικού συστήματος λειτουργεί ως ανιχνευτική διάταξη σύμφωνα με όσα αναμένονται από την θεωρία. Κατά τη φάση αυτή πρέπει να εξακριβώνεται ότι τα σημεία ελέγχου (test points) του κυκλώματος, δίνουν τις αναμενόμενες τιμές. Στόχος της προσομοίωσης ενεργητικής λειτουργίας είναι η εξακρίβωση της ικανότητας του ανιχνευτικού συστήματος BERM να ανιχνεύει και να καταμετράει τους ιονισμούς που συμβαίνουν στον θάλαμο ιονισμού του, και κατά συνέπεια να λειτουργεί ως όργανο ανίχνευσης Ραδονίου.

Για την προσομοίωση ενεργητικής λειτουργίας απαιτείται η εισαγωγή στο κύκλωμα ενός παλμού τάσεως μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή. Λόγω της αδυναμίας του πακέτου Multisim να προσομοιώσει την λειτουργία ενός θαλάμου ιονισμού, αφαιρούνται τα στοιχεία που συνθέτουν τον "Θάλαμο Ιονισμού", δηλαδή οι πυκνωτές C1 και C_CHAMBER καθώς και οι αγωγοί ανόδου και καθόδου. Πριν την προσομοίωση πρέπει να διερευνηθεί ποιο είναι το κατάλληλο ύψος του παλμού αυτού. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέση ενέργεια που απαιτείται για την απόσπαση των "χαλαρότερα" συνδεδεμένων ηλεκτρονίων στον αέρα που ιονίζεται είναι της τάξεως των 35 eV αν ο ιονισμός αυτός γίνεται από –α σωματίδιο. Αν

τώρα το α σωματίδιο προέρχεται από τη διάσπαση αερίου Ραδονίου ή των θυγατρικών του θα έχει ενέργεια περίπου 6 MeV. Επομένως χονδρικά από κάθε τέτοιο ιονισμό θα παράγονται περίπου 150000 ηλεκτρόνια. Δεδομένου ότι το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι περίπου 1.6×10^{-19} Coulomb, γίνεται αντιληπτό ότι από έναν τέτοιο ιονισμό παράγονται $Q = 1.6 \times 10^{-14}$ Coulomb. Ο θάλαμος ιονισμού, με τα δύο ετερόσημα φορτισμένα ηλεκτρόδιά του, λειτουργεί ως μεγάλος πυκνωτής. Ο πυκνωτής αυτός, φορτίζεται σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί στα $V_0 = 500$ V για να δημιουργηθεί η απαραίτητη διαφορά δυναμικού για την σύλληψη των προϊόντων του ιονισμού. Η χωρητικότητα του θαλάμου ως πυκνωτή, εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του και παραμένει αμετάβλητη από την τάση. Εκτιμάται από τον Neher (1994a), ότι η τιμή της χωρητικότητας αυτής για τη γεωμετρία που προτείνει είναι περίπου $C = 6.8$ pF. Με γνωστή την τιμή της χωρητικότητας και της εφαρμοζόμενης τάσης στο θάλαμο ιονισμού, από την αρχή λειτουργίας των πυκνωτών, όπως εκφράζεται από τη σχέση:

$$C = \frac{Q_0}{V_0} \quad (3.1)$$

γίνεται φανερό ότι το φορτίο του πυκνωτή μπορεί να υπολογίζεται σε $Q_0 = 3.4 \times 10^{-9}$ Coulomb, για εφαρμοζόμενη τάση $V_0 = 500$ V.

Επειδή η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι γεωμετρικό χαρακτηριστικό του, τα παραγόμενα, λόγω ιονισμού, φορτία των 1.6×10^{-14} Coulomb, θα μεταβάλλουν την τάση του θαλάμου ιονισμού περίπου κατά $\Delta V = 2$ mV, διότι πρέπει πάντα να ικανοποιείται η σχέση (3.1), ως εξής:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \Rightarrow \Delta V = 0.002V \quad (3.2)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κρίνεται ικανή η εισαγωγή ενός παλμού τάσης ύψους της τάξης των 2mV για την προσομοίωση του παλμού ο οποίος θα προκληθεί από έναν ιονισμό. Για την εισαγωγή αυτή δεν χρειάζεται σε επίπεδο προσομοίωσης να έχουν πολωθεί τα ηλεκτρόδια του θαλάμου ιονισμού με τη διαφορά δυναμικού των 500V διότι προσομοιώνεται μόνο το άμεσο αποτέλεσμα του φαινομένου του ιονισμού, η φόρτιση δηλαδή του ακροδέκτη G του JFET με περίπου -2 mV.

Όσο για το σχήμα του παλμού, μπορεί να πει κανείς ότι για τις ανάγκες της προσομοίωσης το σχήμα μπορεί να είναι συμμετρικό ως προς την άνοδο (φόρτιση – ιονισμός του ανιχνευτή) και την κάθοδο του παλμού (εκφόρτιση του ανιχνευτή). Ένας παλμός τύπου ανορθωμένου τετραγωνικού παλμού θεωρείται κατ'αρχήν κατάλληλος. Τέλος, για τη χρονική έκταση του παλμού έγινε δεκτό για τις ανάγκες της προσομοίωσης ότι το χρονικό άνοιγμα του παλμού μπορεί να είναι 10^{-4} s, δεδομένου ότι ένας ιονισμός του αέρα από α σωματίδια μπορεί να διαρκέσει 10^{-6}

έως 10^{-4} s. Η εισαγωγή του παλμού αυτού στην προσομοίωση γίνεται με την τοποθέτηση κατάλληλης πηγής ανορθωμένου τετραγωνικού παλμού τάσης. Για ευκολία παρατήρησης του φαινομένου, επιλέγεται περιοδική επανάληψη αυτού του παλμού, με περίοδο 1 δευτερολέπτου. Η εισαγωγή μιας πηγής τάσης γίνεται από την διαδρομή "Place / Component/ Sources/ SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES/ ...". Έχοντας τοποθετήσει την πηγή στην επιφάνεια εργασίας για το κύκλωμα που προσομοιώνεται, με διπλό "click" στο εικονίδιο της ανοίγει η καρτέλα ιδιοτήτων της πηγής, από όπου επιλέγονται οι επιθυμητές ρυθμίσεις της. Ο θετικός πόλος της πηγής παλμών τάσεως συνδέεται μέσω ενός διακόπτη πάνω στον ακροδέκτη G του JFET, ενώ ο αρνητικός της πόλος συνδέεται με την γείωση (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.32).

Σύμφωνα με όσα εξηγήθηκαν και σε προηγούμενη παράγραφο, η προσομοίωση ξεκινάει μέσω της διαδρομής "Simulate/ Run". Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα "προσομοίωση παθητικής λειτουργίας", το κύκλωμα χρειάζεται χρόνο για να σταθεροποιηθεί. Σε επίπεδο προσομοίωσης αυτός ο χρόνος έχει ήδη προσδιορισθεί σε περίπου 20s. Κατά τη διάρκεια της σταθεροποίησης δεν συστήνεται η εισαγωγή παλμών στο ανιχνευτικό κύκλωμα. Μετά τη σταθεροποίηση του κυκλώματος, κάθε παλμός που εισάγεται από την πηγή τάσης που επιλέχθηκε, αποδίδει έναν μεγάλο αρνητικό παλμό, που μειώνει το δυναμικό στους ακροδέκτες έξοδου του Συγκριτή από τα περίπου 4.5 V (τάση που καθορίζεται από την pull-up αντίσταση R9) στα περίπου 0 V. Η παρατήρηση του παλμού αυτού γίνεται με την βοήθεια του εικονικού παλμογράφου στην έξοδο του Συγκριτή (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 3.33). Από την ολοκλήρωση ενός παλμού τάσης που προσομοιώνει τον ιονισμό από α σωματίδιο στον ανιχνευτή του κυκλώματος εκτιμάται ότι το ρεύμα εκφόρτισης μέσα από το JFET του κυκλώματος φθάνει στην τάξη μεγέθους των pA, και είναι πράγματι πολύ μικρό αλλά ικανό για να οδηγήσει την απόκριση του κυκλώματος.

3.6 Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάσθηκε μία λεπτομερής προσομοίωση της λειτουργίας του ανιχνευτικού συστήματος, προκειμένου να διαπιστωθεί (α) ότι η συμπεριφορά του είναι σταθερή και αναμενόμενη όπως περιγράφεται από τον Neher (1994a), (β) ότι στα σημεία ελέγχου του κυκλώματος αναγνωρίζονται οι προβλεπόμενες τάσεις ή τα προβλεπόμενα σήματα και τέλος (γ) ότι μία προσομοίωση αλληλεπίδρασης τύπου ιονισμού στον ακροδέκτη G του JFET θα οδηγήσει στην αναμενόμενη ενίσχυση του παραγόμενου παλμού τάσης και στον επιτυχή διαχωρισμό του από τον θόρυβο. Από την προσομοίωση αυτή που

πραγματοποιήθηκε με το παραθυρικό σχεδιαστικό πακέτο Multisim 10.0.1, διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- A) η ποιότητα και ο αποδοτικός τρόπος χρήσης του λογισμικού Multisim
- B) ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να ρυθμιστεί η τιμή της αντίστασης R1
- Γ).ο κατ'εκτίμηση χρόνος ο οποίος απαιτείται για την σταθεροποίηση της λειτουργίας του JFET
- Δ) ο κατ'εκτίμηση χρόνος ο οποίος απαιτείται για την σταθεροποίηση της λειτουργίας του κυκλώματος και
- Ε) η κατ'εκτίμηση απόκριση του κυκλώματος σε παλμό από ιονισμό με $-a$ σωματίδιο.

Στο επόμενο 4^ο Κεφάλαιο θα γίνει η πλήρης συγκρότηση του ανιχνευτικού κυκλώματος, θα διαπιστωθεί στην πράξη η τιμή ρυθμίσεως της αντίστασης R1, ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την σταθεροποίηση της λειτουργίας του JFET και ο χρόνος που απαιτείται για την σταθεροποίηση της λειτουργίας του κυκλώματος. Με αυτόν τον τρόπο, θα γίνει δυνατό να επαληθευτεί και η ακρίβεια της εξομοίωσης. Τέλος, στο επόμενο 4^ο Κεφάλαιο, θα γίνει και πραγματική δοκιμή του ανιχνευτή BERM ώστε να ληφθεί παλμός από πραγματικό ιονισμό με $-a$ σωματίδιο.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΟΥ 3^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

ΑΕΡΙΟ που ιονίζεται από ακτινοβολία	από -β σωματίδιο	από -α σωματίδιο
CH₄	30.2	29.0
O₂	32.3	32.2
He	32.5	31.7
Air	35.0	35.2
N₂	35.8	36.0
H₂	38.0	37.0

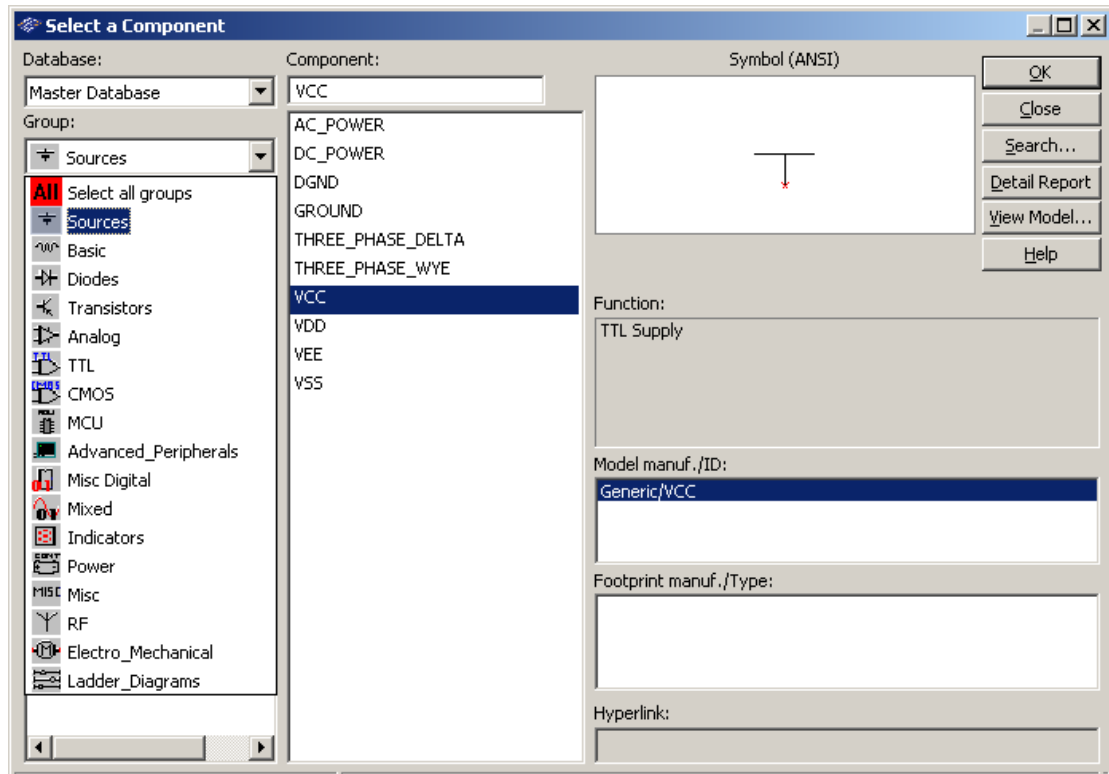
Πίνακας 3.1

Οι τυπικές τιμές παραγόμενων eV ανά ιονισμό (δηλ. ανά ζεύγος παραγόμενων ιόντων) είναι για τα περισσότερα αέρια στην περιοχή 30-35 eV

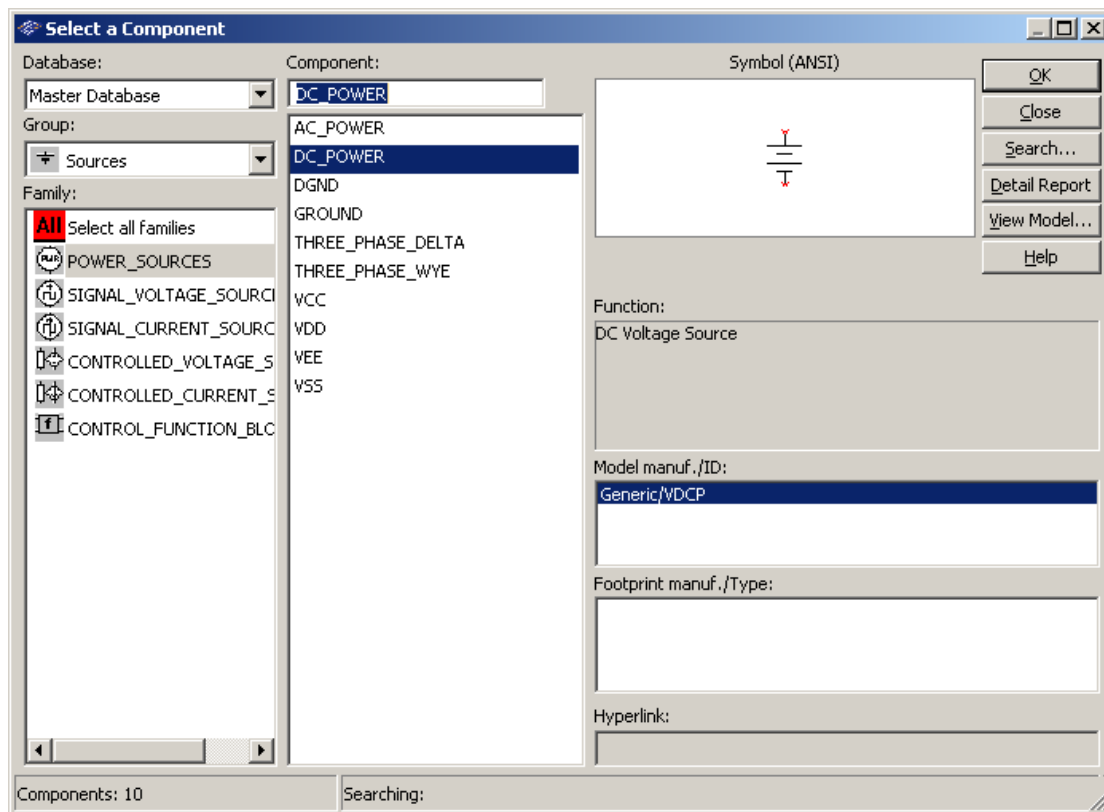
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ 3^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



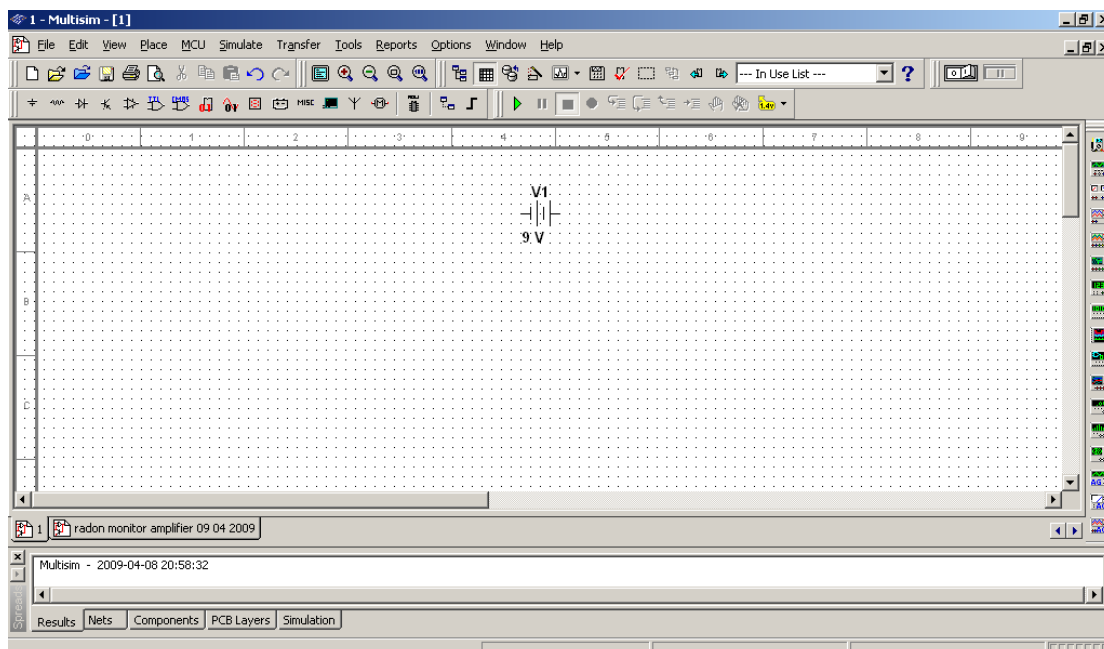
Διάγραμμα 3.1
Κεντρική γραμμή εργαλείων Multisim



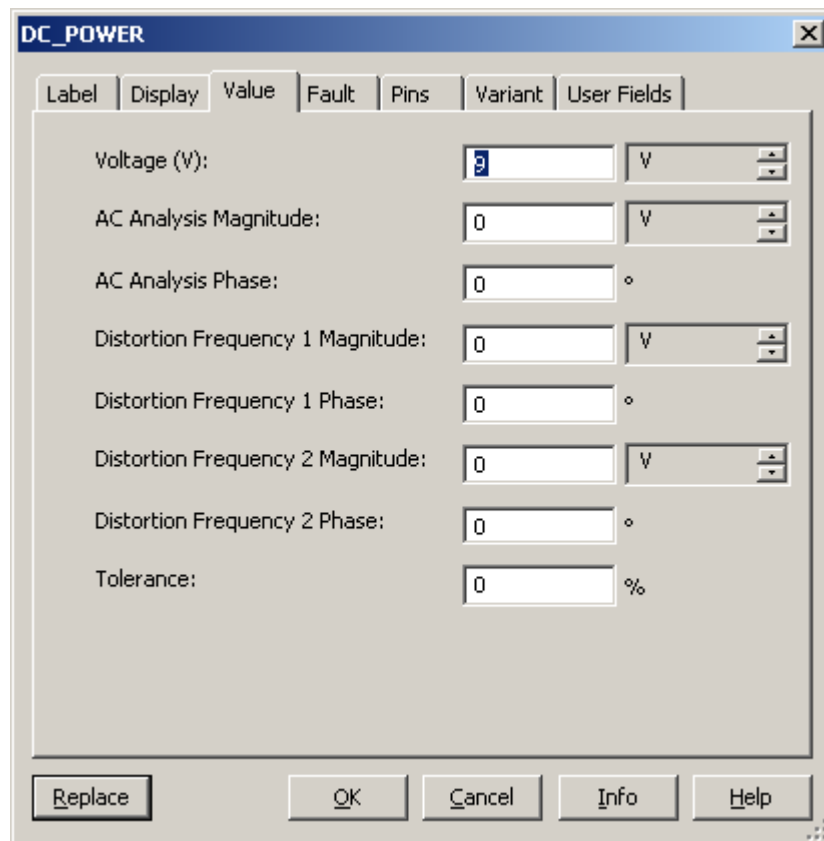
Διάγραμμα 3.2
Κυριότερες κατηγορίες εξαρτημάτων Multisim



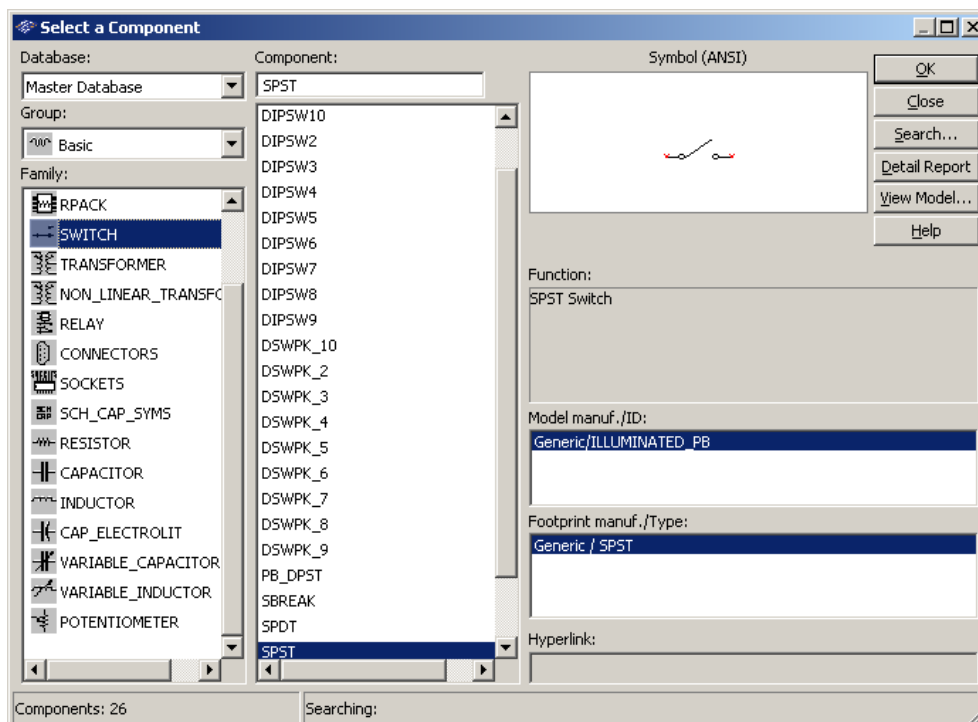
Διάγραμμα 3.3
Επιλογή πηγής ισχύος κυκλώματος



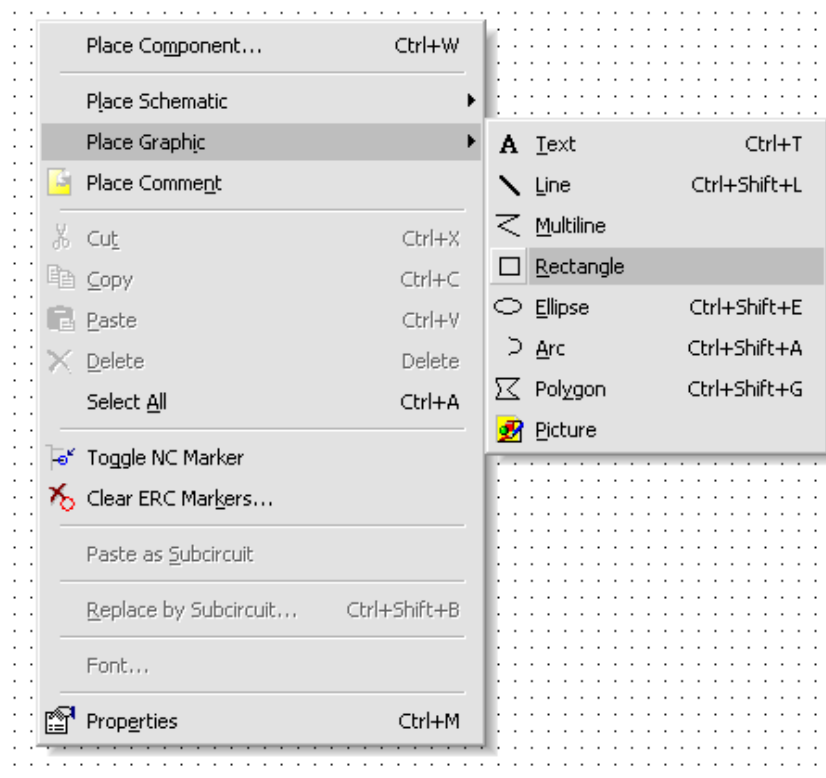
Διάγραμμα 3.4
Τοποθέτηση πηγής τάσης



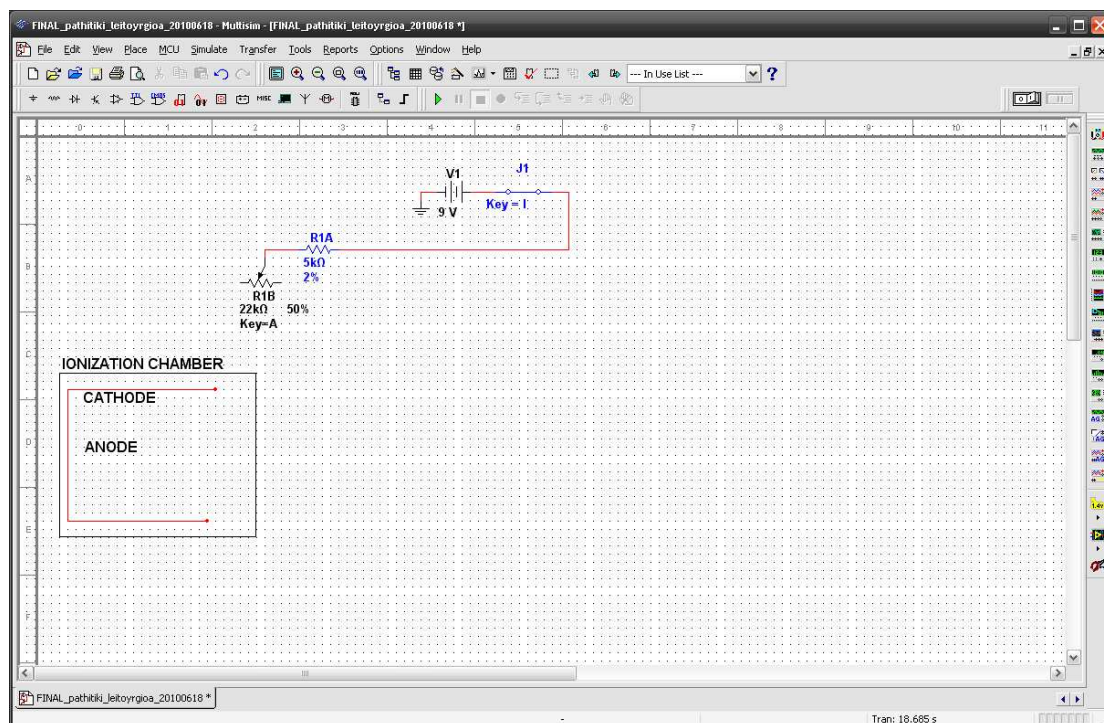
Διάγραμμα 3.5
Ρύθμιση ιδιοτήτων πηγής τάσης



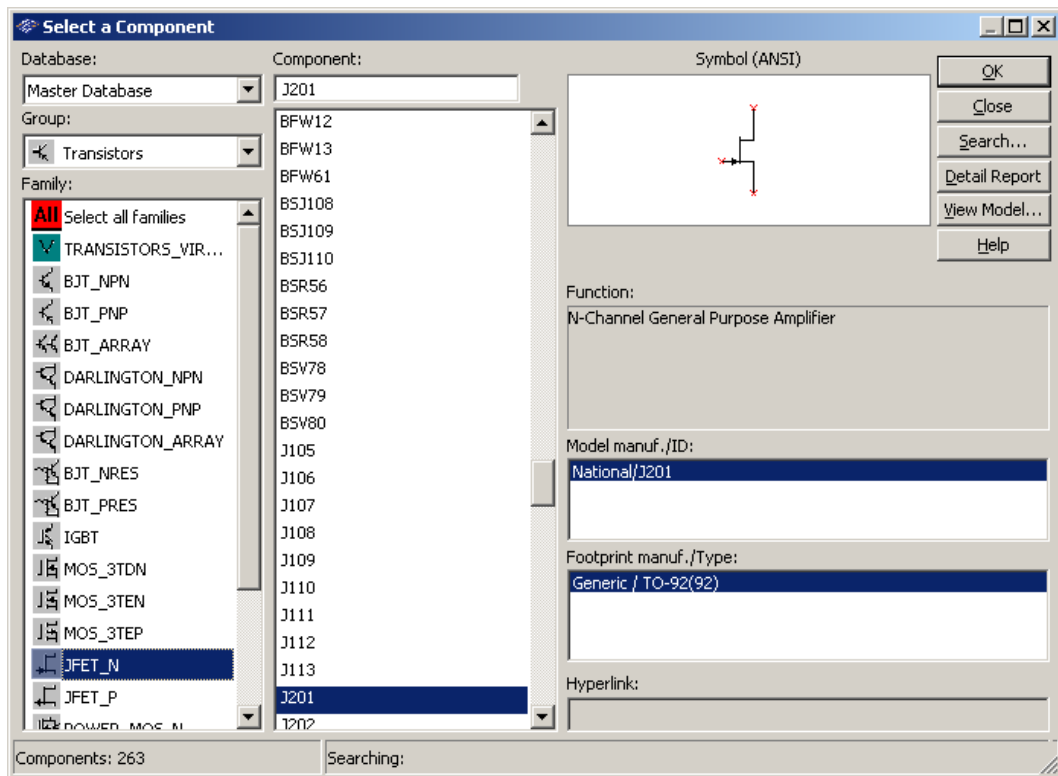
Διάγραμμα 3.6
Τοποθέτηση διακόπτη "J1"



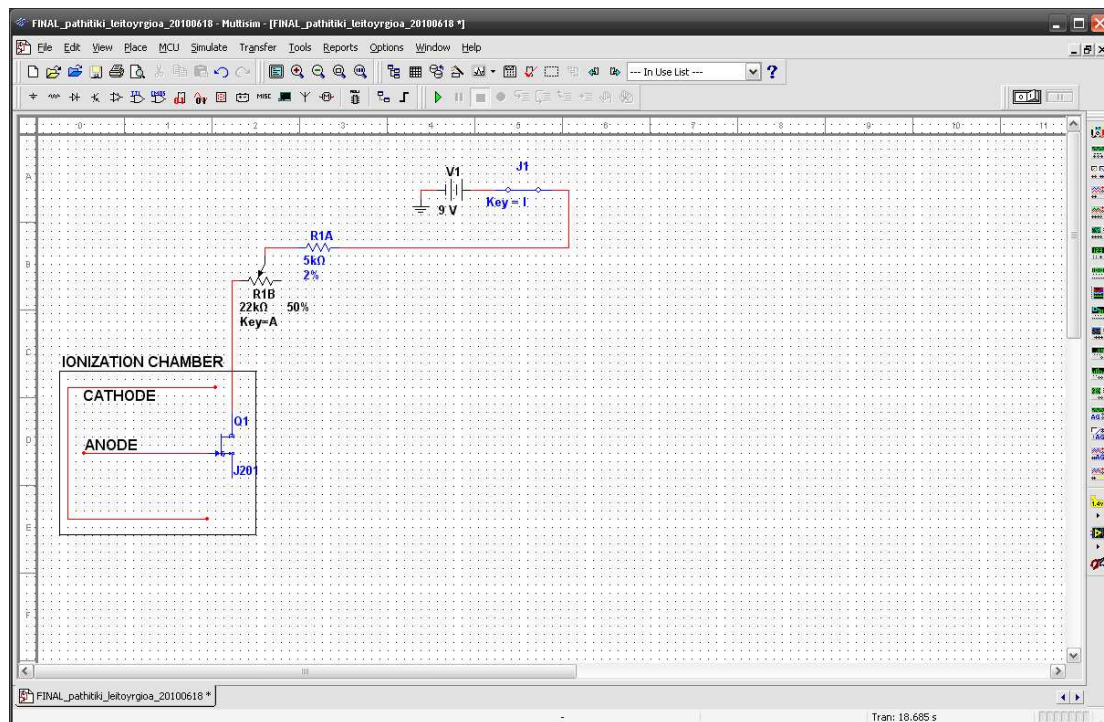
Διάγραμμα 3.7
Εισαγωγή σχήματος στην επιφάνεια εργασίας του
Multisim



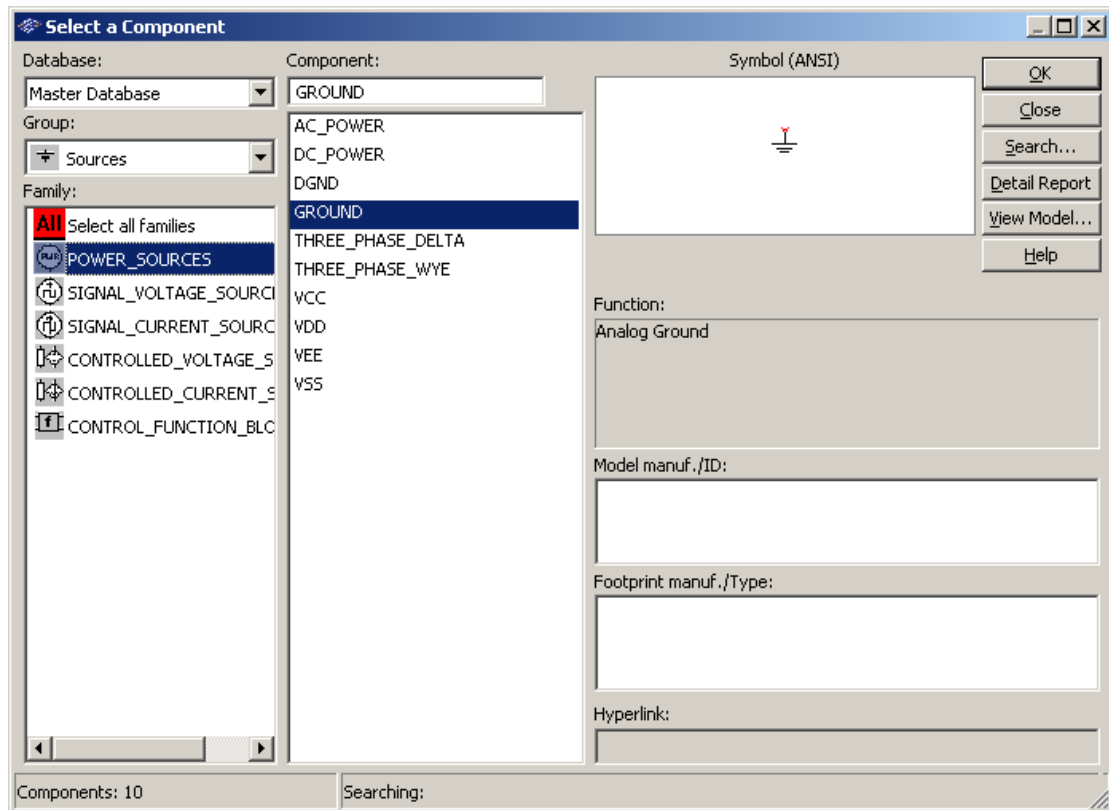
Διάγραμμα 3.8
Αντίσταση R1A = 5 kΩ, R1B = 22kΩ κ θάλαμος ιονισμού



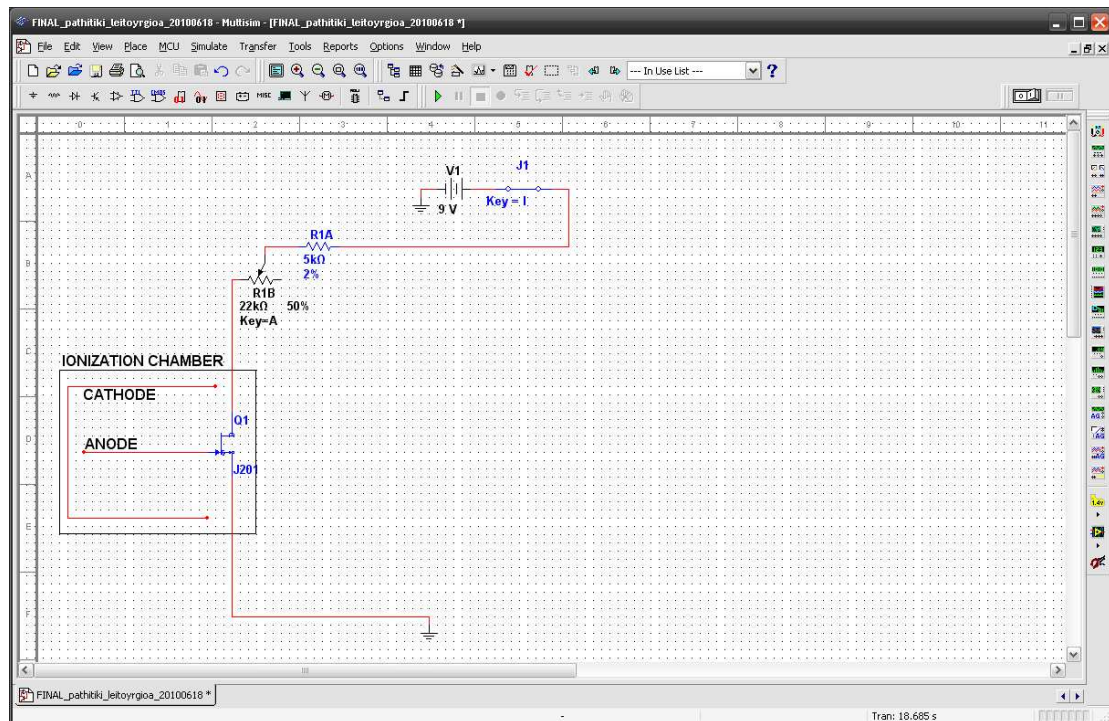
Διάγραμμα 3.9
Επιλογή και τοποθέτηση JFET J201



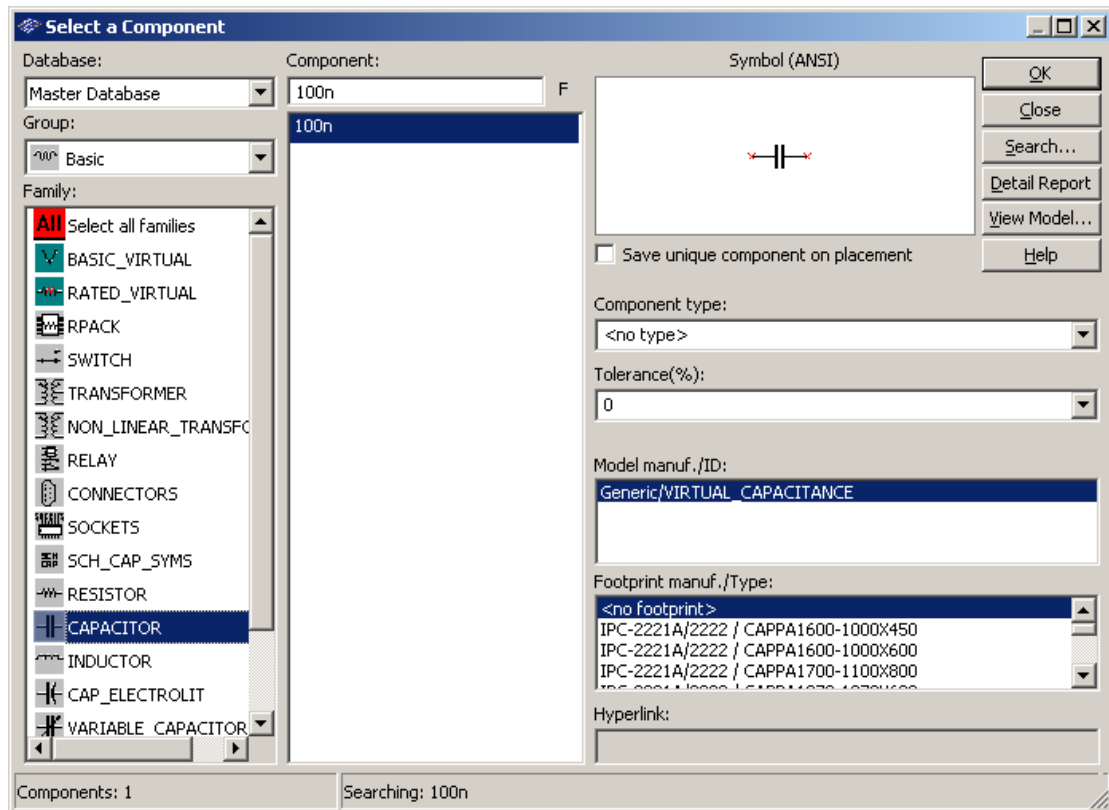
Διάγραμμα 3.10
Θάλαμος ιονισμού με ηλεκτρόδια ανόδου - καθόδου και JFET



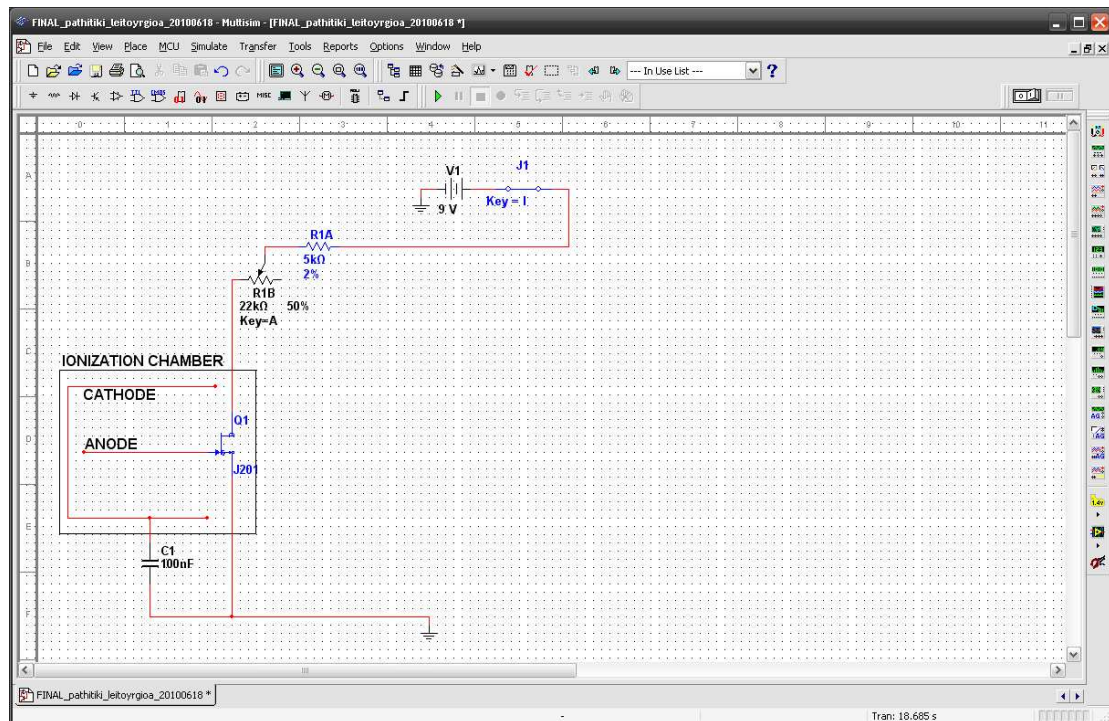
Διάγραμμα 3.11
Επιλογή και τοποθέτηση γείωσης



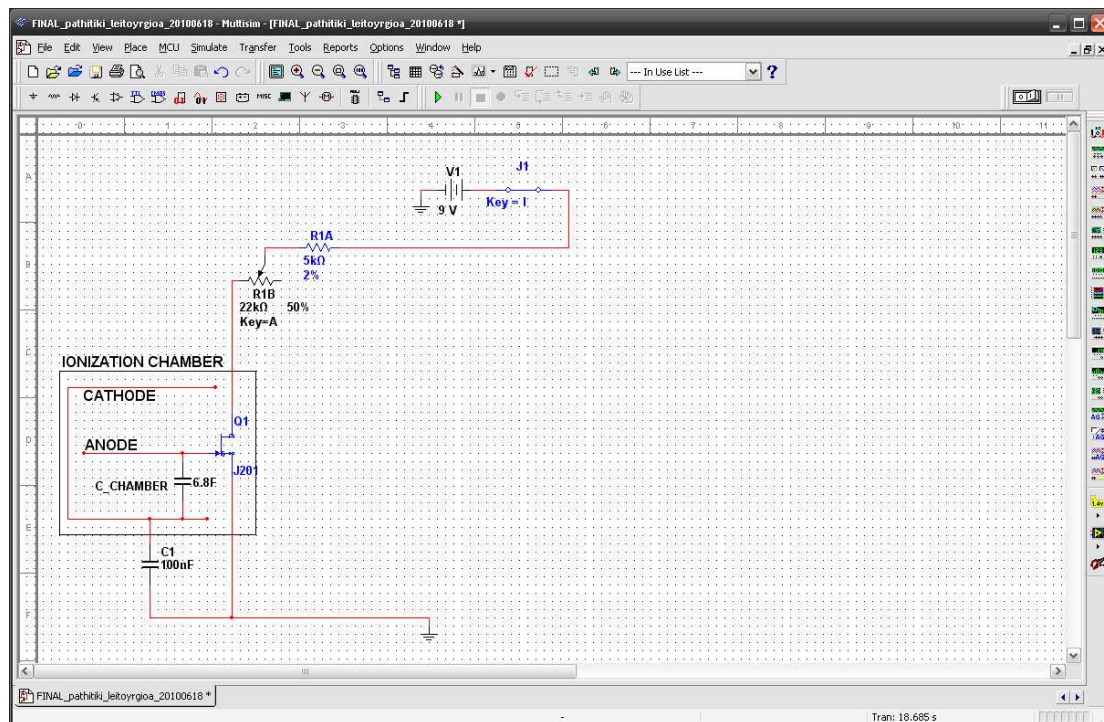
Διάγραμμα 3.12
Θάλαμος ιονισμού με ηλεκτρόδια ανόδου – καθόδου, JFET και γείωση



Διάγραμμα 3.13
Επιλογή και τοποθέτηση πυκνωτή

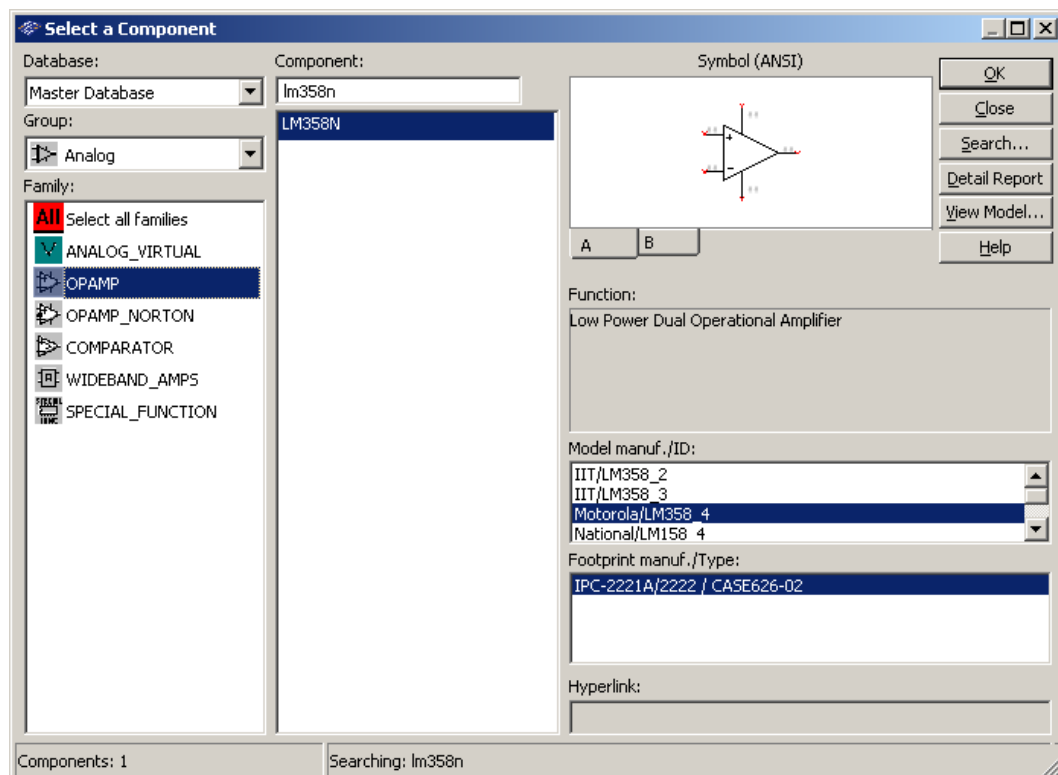


Διάγραμμα 3.14
Το κύκλωμα μετά την τοποθέτηση του πυκνωτή C1



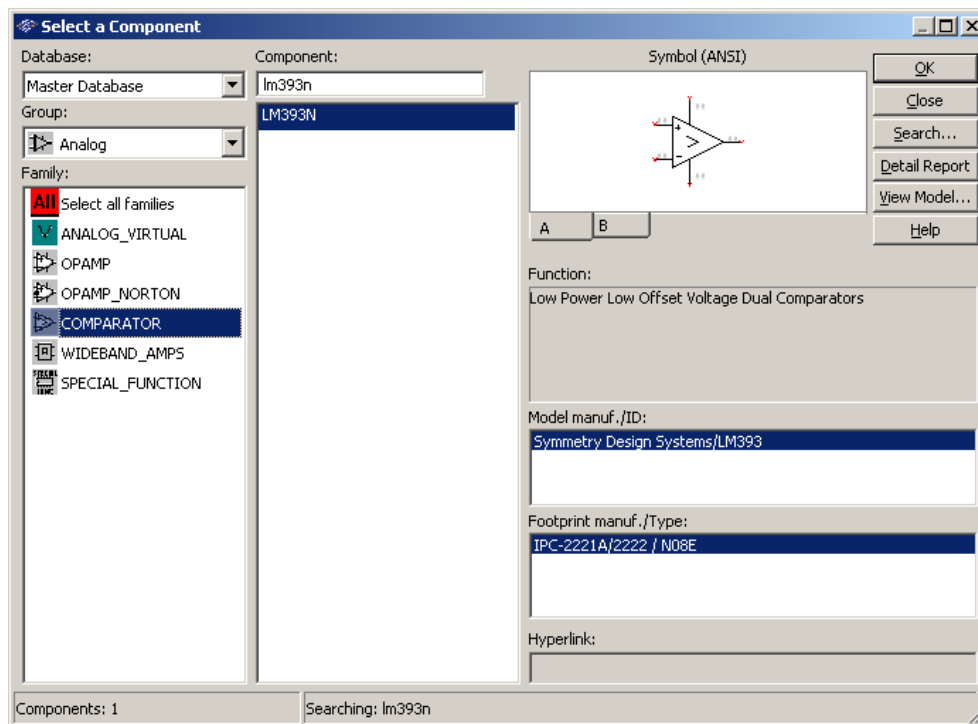
Διάγραμμα 3.15

Το κύκλωμα μετά την τοποθέτηση του πυκνωτή C_CHAMBER

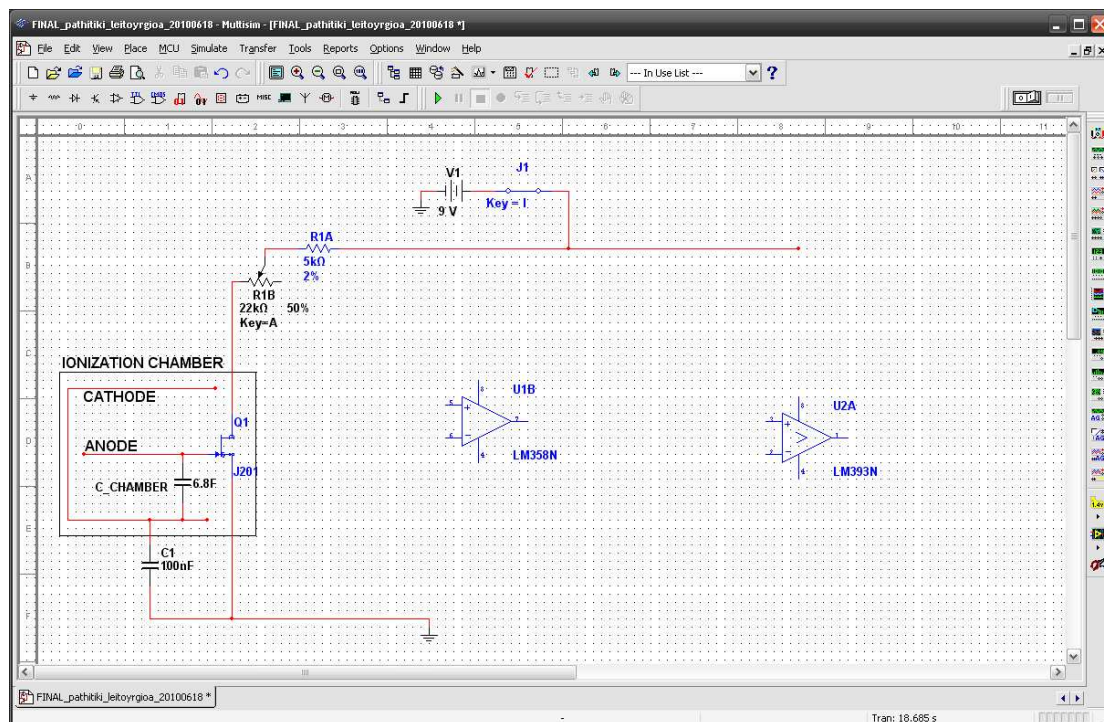


Διάγραμμα 3.16

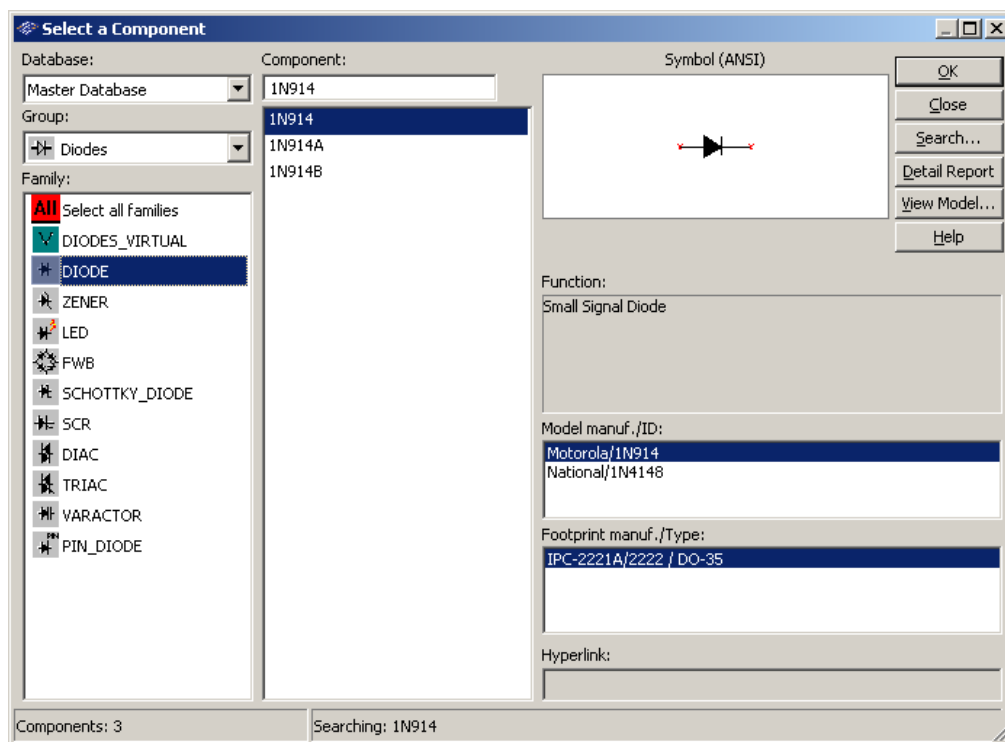
Επιλογή και τοποθέτηση τελεστικού ενισχυτή



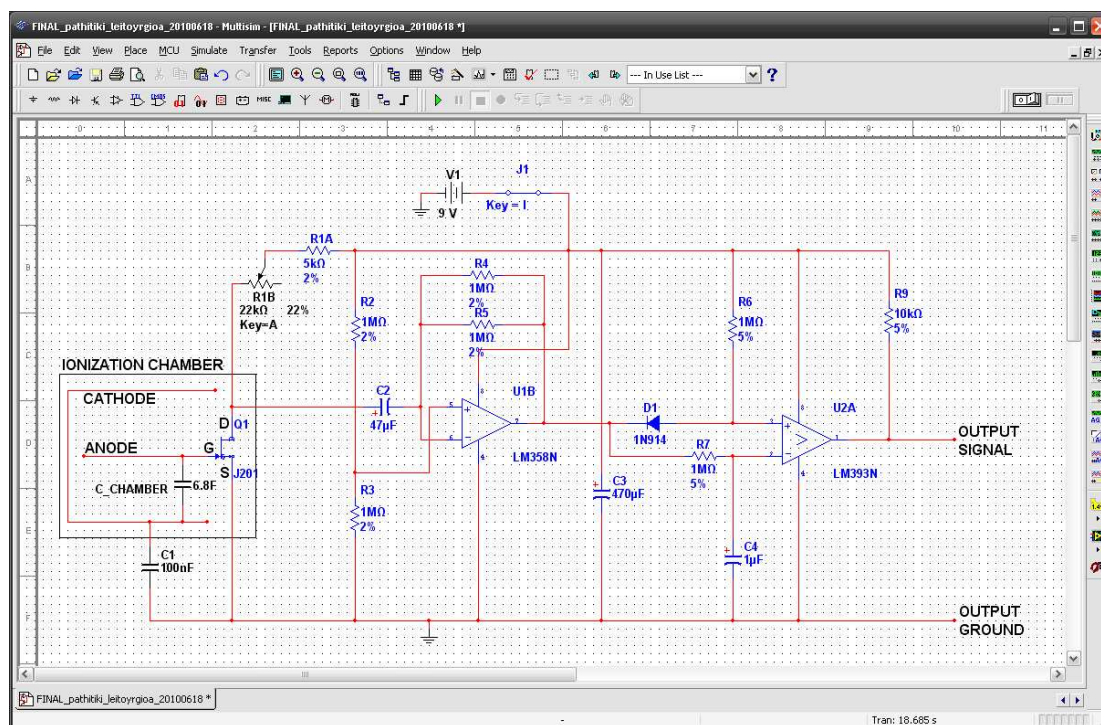
Διάγραμμα 3.17
Επιλογή και τοποθέτηση Συγκριτή



Διάγραμμα 3.18
Το κύκλωμα μετά την τοποθέτηση Τελεστικού Ενισχυτή και Συγκριτή

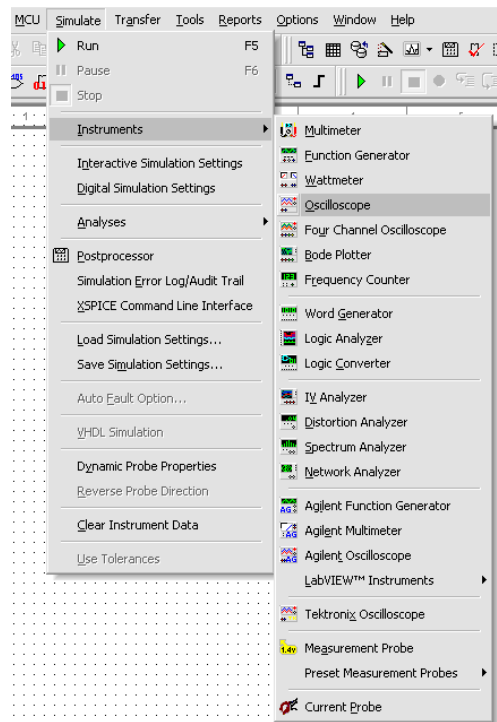


Διάγραμμα 3.19
Επιλογή και τοποθέτηση διόδου



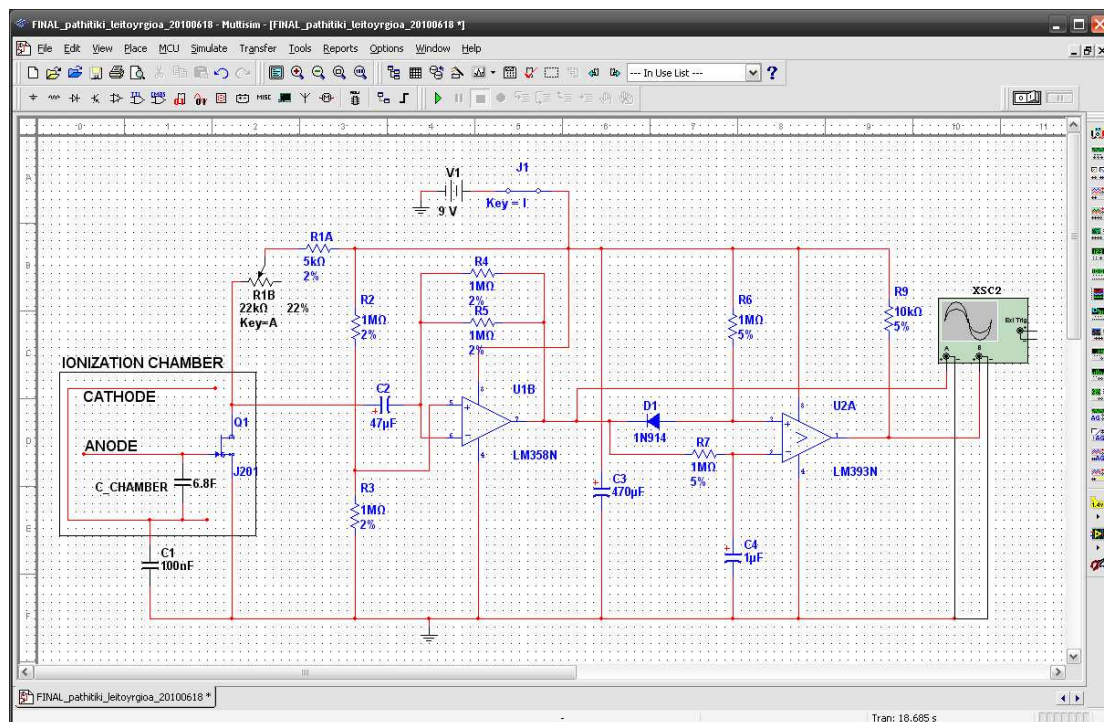
Διάγραμμα 3.20

Τελική μορφή του πλήρους κυκλώματος στην επιφάνεια εργασίας Multisim, διακρίνονται οι ακροδέκτες G, D και S του J201



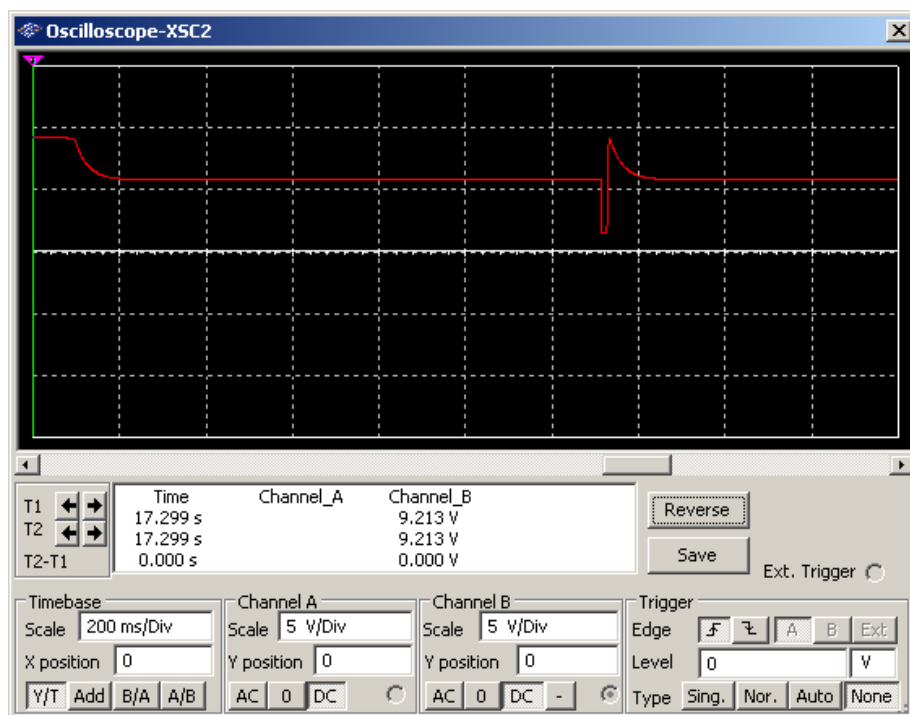
Διάγραμμα 3.21

Επιλογή και τοποθέτηση παλμογράφου



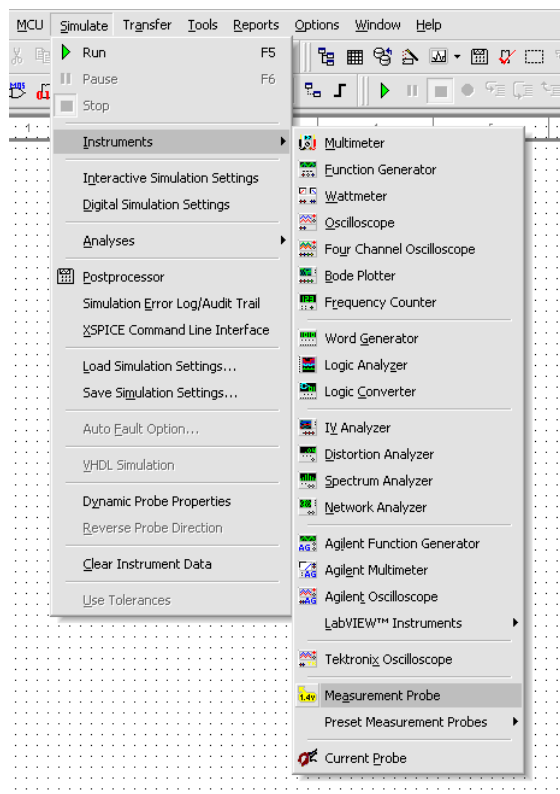
Διάγραμμα 3.22

Τελική μορφή κυκλώματος με παλμογράφο σε σημεία ελέγχου



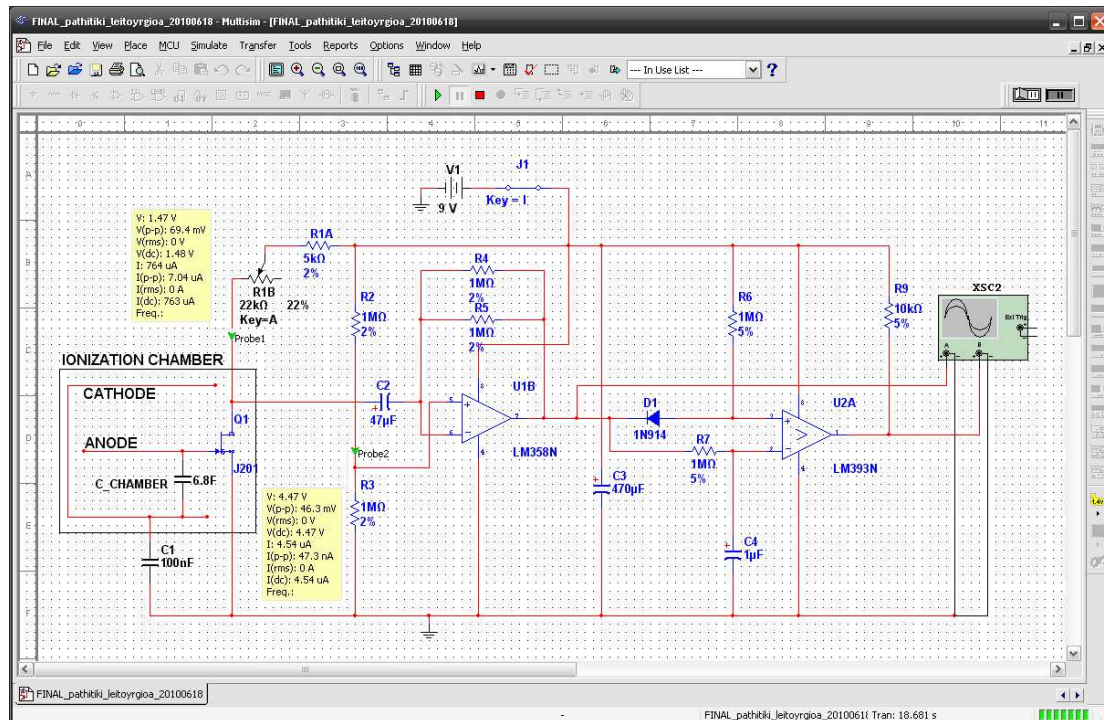
Διάγραμμα 3.23

Οθόνη εικονικού παλμογράφου



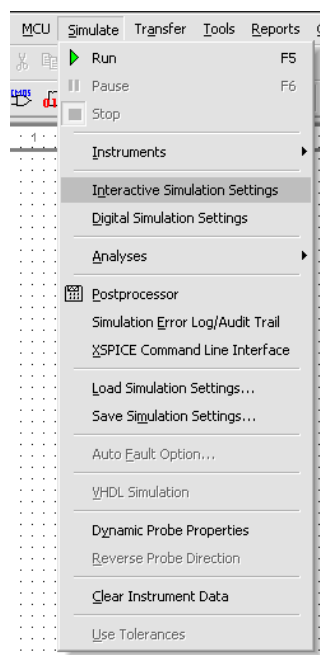
Διάγραμμα 3.24

Επιλογή και τοποθέτηση πολυμέτρου (measurement probe)



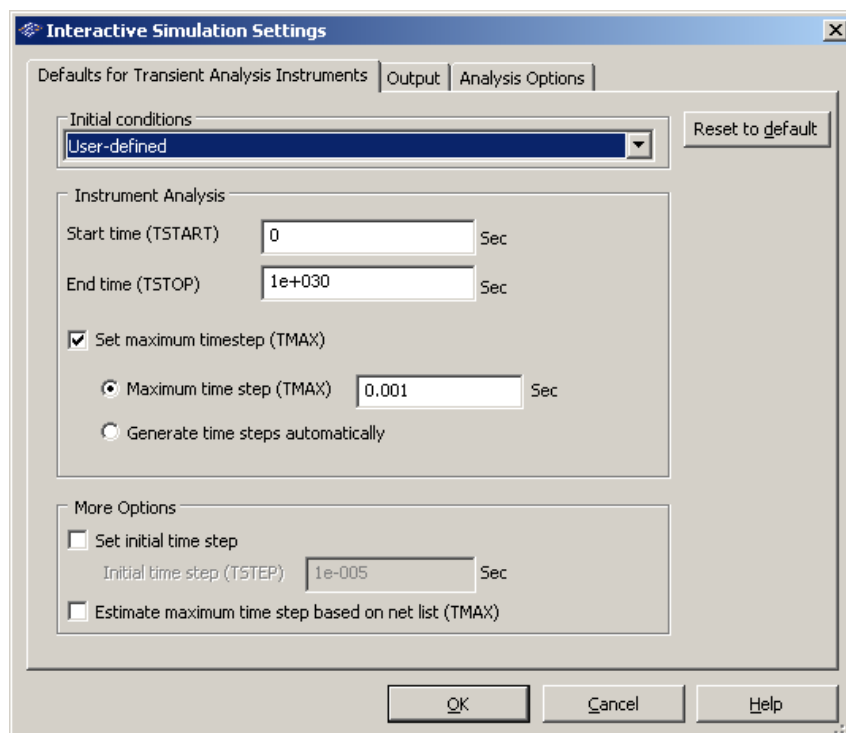
Διάγραμμα 3.25

Το κύκλωμα με τοποθετημένο πολύμετρο (Probe 1)



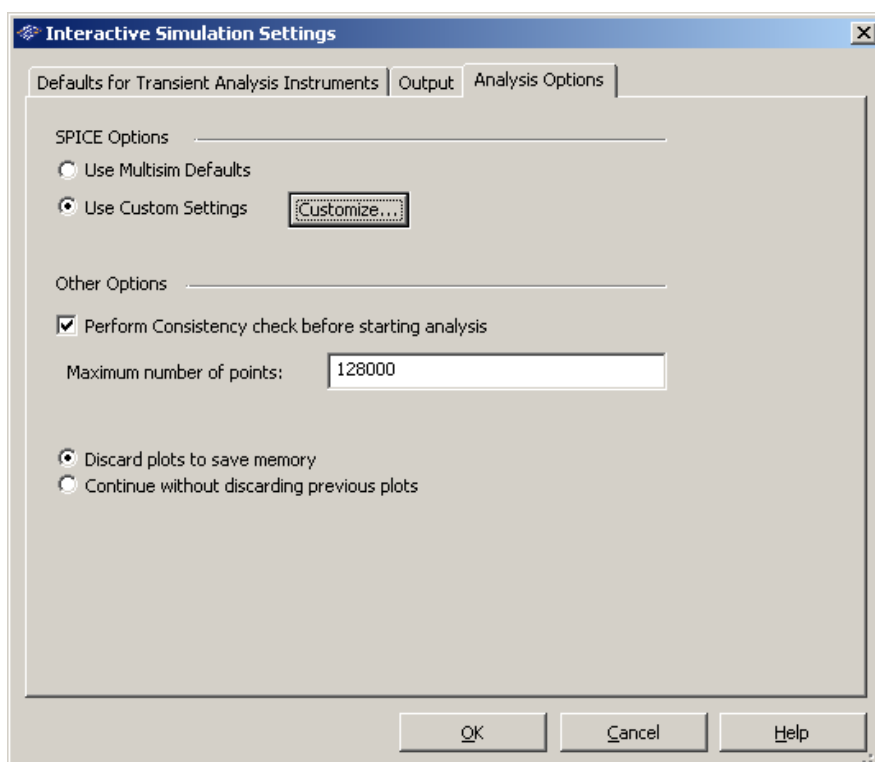
Διάγραμμα 3.26

Διαδρομή ρύθμισης παραμέτρων προσομοίωσης



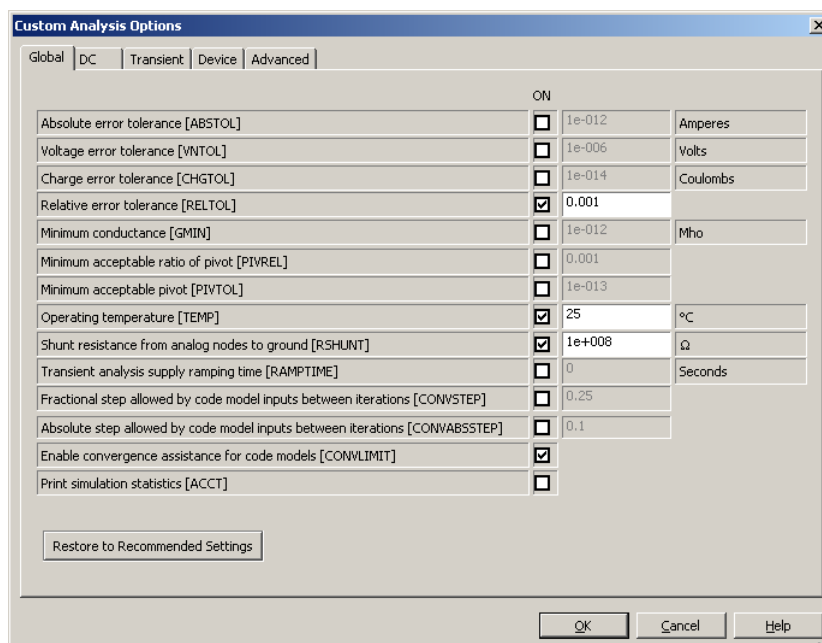
Διάγραμμα 3.27

Καρτέλα ρύθμισης αρχής, τέλους και χρονικού βήματος προσομοίωσης



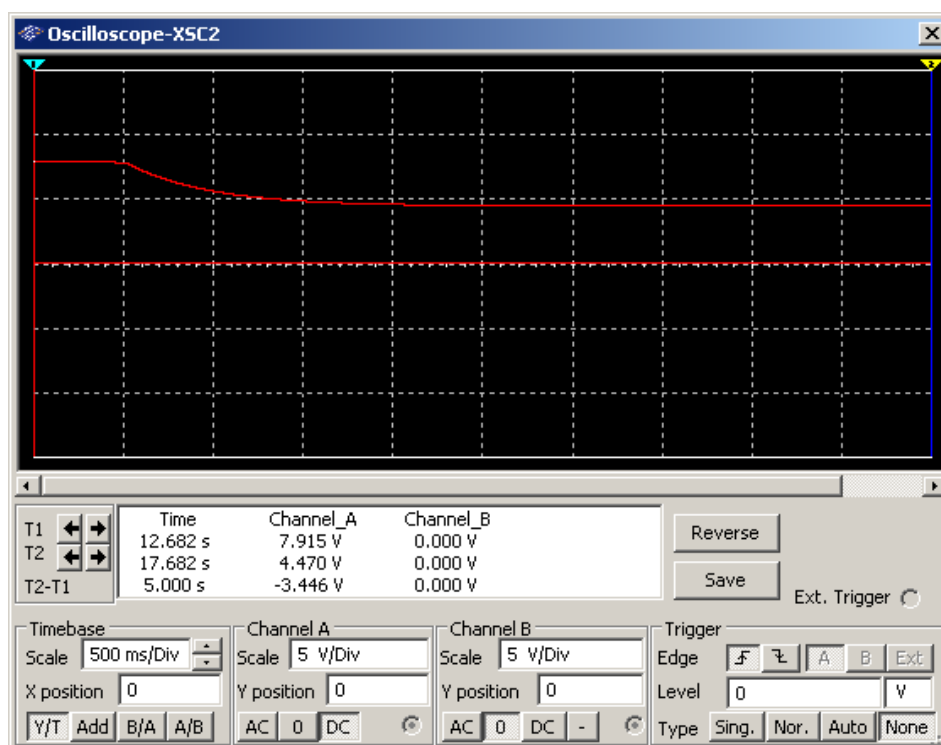
Διάγραμμα 3.28

Καρτέλα ρύθμισης άλλων παραμέτρων προσομοίωσης



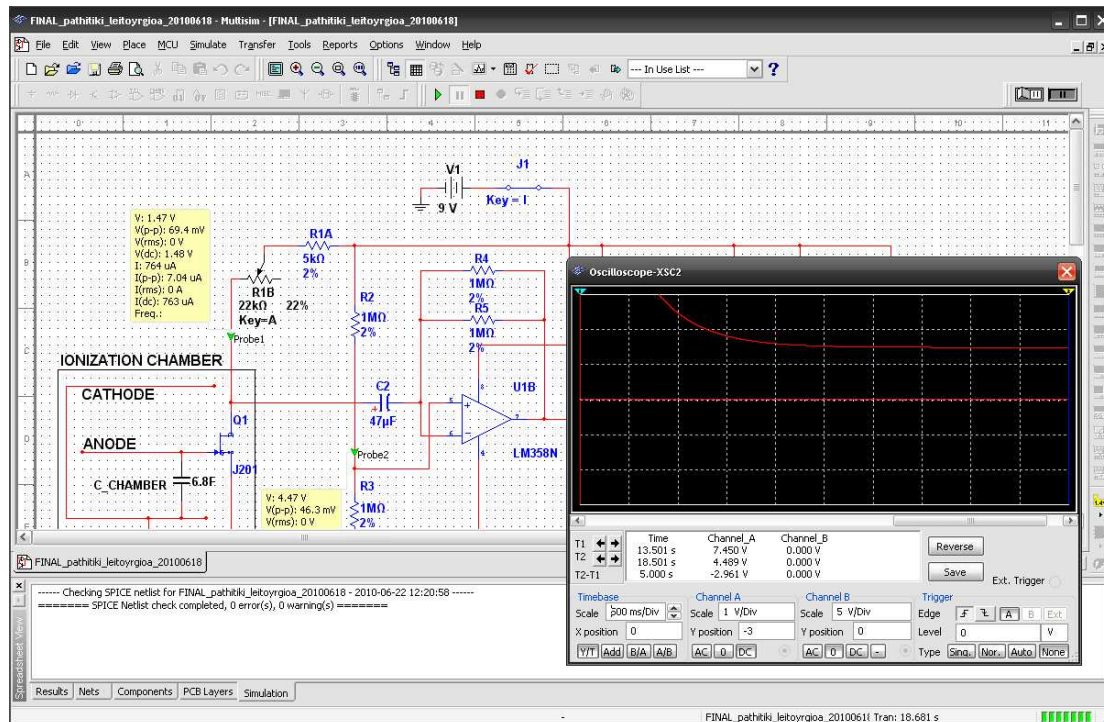
Διάγραμμα 3.29

Καρτέλα ρύθμισης θερμοκρασίας λειτουργίας



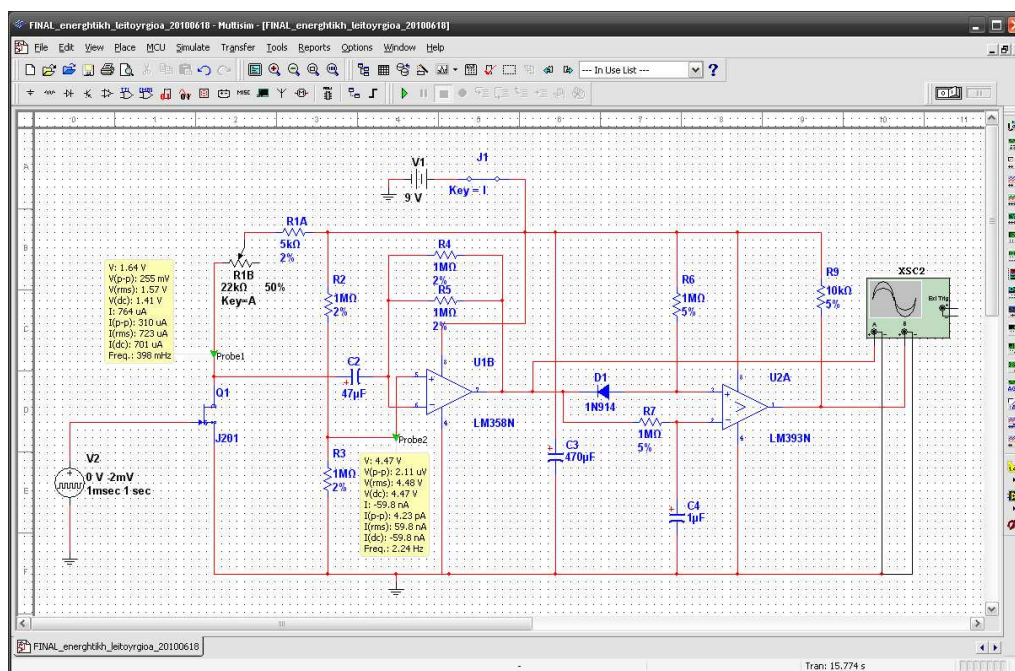
Διάγραμμα 3.30

**Σημείο ελέγχου επιτηρούμενο από εικονικό παλμογράφο
(τιμή ισορροπίας δυναμικού: 4.47V)**



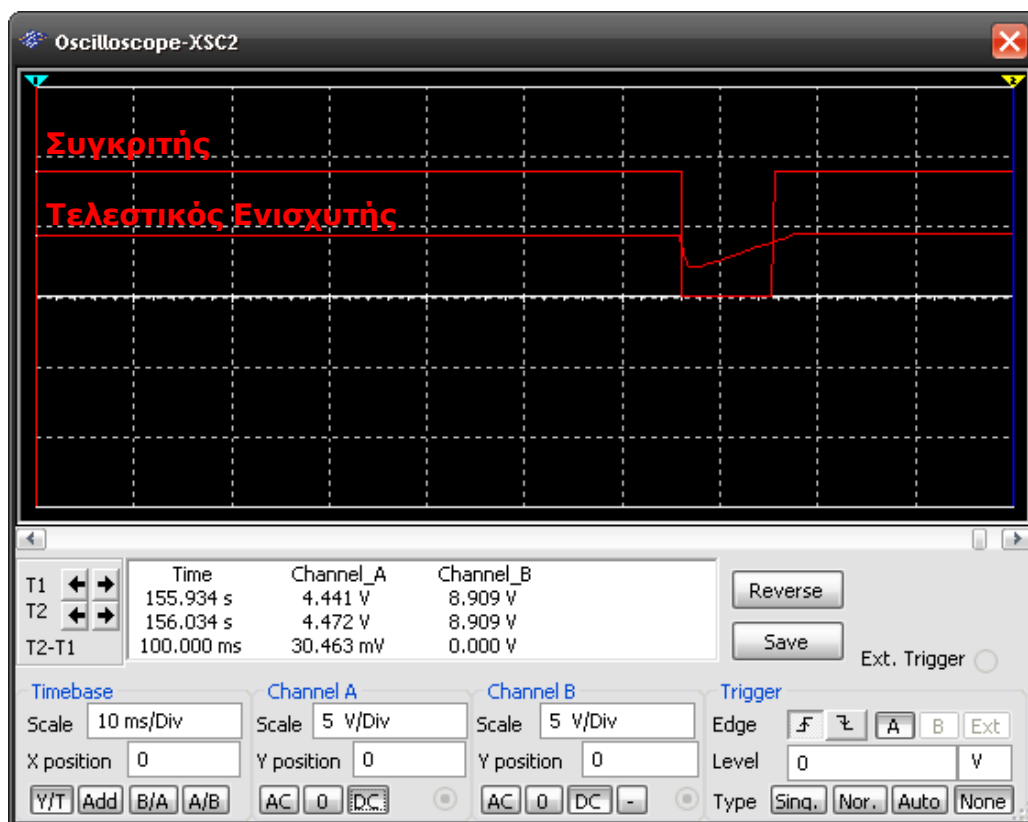
Διάγραμμα 3.31

Εξισορρόπηση λειτουργίας κυκλώματος (χρόνος ~17 sec)



Διάγραμμα 3.32

Κύκλωμα προσομοίωσης ενεργητικής λειτουργίας με πηγή παλμών τάσης



Διάγραμμα 3.33

Κύκλωμα προσομοίωσης ενεργητικής λειτουργίας με σημεία ελέγχου (measurement probes, παλμογράφο) και πηγή παλμών τάσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η υλοποίηση της κατασκευής του θαλάμου ιονισμού BERM και του ηλεκτρονικού κυκλώματός του, με βάση τα θεωρητικά και τα κατασκευαστικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα δύο Κεφάλαια, στην υλοποίηση που παρουσίασε ο Neher (1994a,b,c) και σε προσωπικές οδηγίες από τον Neher (2009). Ιστορικά αναφέρεται ότι την υλοποίηση του Neher (1994a) πραγματοποιήσαν επίσης ο Cheung (1995) και ο DiMauro (βλ. δικτυακό σύνδεσμο στη βιβλιογραφία). Οι υλοποιήσεις αυτές, όπως εξάλλου και η παρούσα, δεν διεκδικούν ποιότητα αντίστοιχη των επαγγελματικών ανιχνευτών ραδονίου και παραμένουν σε μάλλον ερασιτεχνικό επίπεδο. Παρόλα αυτά, οι προηγούμενες υλοποιήσεις παρείχαν συστηματικά αποτελέσματα μετρήσεων ραδονίου. Η παρούσα υλοποίηση αξιολόγησε σε σημαντικό βαθμό τις παρατηρήσεις από την κατασκευή του Neher (1994a,b,c) και με γνώμονα την ευκολότερη κατασκευή και το λειτουργικότερο τελικό προϊόν, κατευθύνθηκε προς την ανθεκτικότερη κατασκευή με περιορισμό των κατασκευαστικών αδυναμιών των προηγούμενων προσεγγίσεων και προς τη συνδεσιμότητα με Η/Υ για την απευθείας real-time on-line καταγραφή και αποθήκευση των μετρητικών αποτελεσμάτων συγκέντρωσης ραδονίου. Σημειώνεται ότι για την παρούσα υλοποίηση υπήρξαν ενημερωτικές επικοινωνίες και επίλυση αποριών με τους Neher, Cheung και DiMauro (2009). Τρεις είναι οι συνιστώσες του ανιχνευτικού συστήματος που παρουσιάζονται: (α) η κατασκευή του θαλάμου ιονισμού, (β) η κατασκευή του ηλεκτρονικού κυκλώματος και (γ) η επιλογή και η σύνδεση του κατάλληλου τροφοδοτικού υψηλής τάσης για τη φόρτιση του θαλάμου ιονισμού. Η κατασκευή του ανιχνευτικού συστήματος έγινε σε δύο φάσεις: (1) την κατασκευή του **Δοκιμαστικού Πρωτοτύπου** και (2) την κατασκευή του **Οριστικού Πρωτοτύπου**.

4.2 Βασικές κατασκευαστικές απαιτήσεις

Όπως έχει επεξηγηθεί και σε προηγούμενα Κεφάλαια, η καταγραφή ενός ιονισμού, που οφείλεται σε -α ραδιενεργή διάσπαση, μέσω ανιχνευτικής διάταξης τύπου θαλάμου ιονισμού στηρίζεται στην ανίχνευση μιας εκφόρτισης που θα προκαλέσει ρεύμα της τάξης του pA (10^{-12} A). Η επίτευξη του στόχου αυτή απαιτεί κατασκευή με εξαιρετική ευαισθησία και ελάχιστο ηλεκτρονικό θόρυβο. Για να επιτευχθούν αυτές οι δύο απαιτήσεις θα πρέπει να ακολουθηθούν κάποιοι "χρυσοί κανόνες":

- **Θωράκιση από εξωτερικό ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο**

Η θωράκιση του κυκλώματος και του θαλάμου ιονισμού BERM είναι δυνατόν να κρίνει την επιτυχία ή αποτυχία της κατασκευής. Αν ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος προερχόμενος από το περιβάλλον (γραμμές τροφοδοσίας, ύπαρξη μετασχηματιστών, λειτουργία κινητών τηλεφώνων) φτάσει στο κύκλωμα, τότε αυτός θα ενισχυθεί από την ενισχυτική διάταξη και θα προκαλέσει ψευδείς μετρήσεις. Αν μάλιστα, είναι αρκετά ισχυρός, τότε μπορεί να προκαλέσει αυτοταλάντωση στο κύκλωμα ενίσχυσης καθιστώντας κάθε προσπάθεια μέτρησης αδύνατη.

- **Τροφοδοσία κυκλώματος ενισχυτή / συγκριτή χωρίς θόρυβο**

Τυχόν θόρυβος προερχόμενος από την τροφοδοσία είναι δυνατόν να επηρεάσει απευθείας τον ενισχυτή, προκαλώντας ενισχυμένο θόρυβο στην έξοδό του, ίσως και ψευδείς μετρήσεις, δυσκολεύοντας τις μετρήσεις συγκέντρωσης ραδονίου.

- **Βελτιστοποίηση ευαισθησίας JFET**

Είναι φανερό από τα όσα έχουν σημειωθεί στο 2^ο και το 3^ο Κεφάλαιο ότι το JFET εκτελεί τον ρόλο του "αισθητήριου" μέσου για τον εντοπισμό ενός ιονισμού μέσα στον θάλαμο BERM. Σκοπός του είναι να αντιλαμβάνεται τις εκφορτίσεις της τάξεως του pA, τιμή εξαιρετικά χαμηλή. Είναι λοιπόν αναγκαίο να ληφθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις έτσι ώστε διευκολυνθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η σωστή λειτουργία του JFET. Τα κυριότερα εμπόδια στη σωστή λειτουργία του JFET είναι η ύπαρξη τυχόν ρευμάτων διαρροής μεταξύ των ακροδεκτών του και η μεταφορά σε αυτό ηλεκτρομαγνητικού θορύβου από άλλα μέρη του κυκλώματος.

- **Διατήρηση υψηλής τάσης στον θάλαμο BERM**

Για την καταγραφή ενός ιονισμού θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ ανόδου και καθόδου, μέσα στον θάλαμο ιονισμού. Το πεδίο αυτό θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό ώστε να βοηθάει την σύλληψη των ιονισμών, αλλά όχι τόσο ισχυρό ώστε να ιονίζει τον αέρα από μόνο του. Ο ελάχιστος δυνατός ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος και η εξασφάλιση ότι δεν υπάρχουν διαρροές ρεύματος που μπορεί να εκφορτίζουν το θάλαμο είναι και εδώ απαραίτητες και αναγκαίες προϋποθέσεις για την καλή λειτουργία του θαλάμου.

Αυτές οι κατασκευαστικές απαιτήσεις θα πρέπει να ακολουθηθούν κατά το δυνατόν πιστά. Αδυναμία τήρησης αυτών των κανόνων οδηγεί με βεβαιότητα στην αποτυχία της κατασκευής.

"Δεν χωράει θόρυβος στην τάξη μεγέθους των picoAmpere".

4.3 Υλοποίηση θαλάμου ιονισμού BERM

Όπως αναφέρθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο ο θάλαμος ιονισμού BERM μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις τυποποιημένες κυλινδρικές μεταλλικές συσκευασίες για τρόφιμα τυπικού όγκου 330 mL. Ως τέτοια επιλέχθηκε ήδη η κυλινδρική συσκευασία των 115 g των μπισκότων "CAPRICE ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ" (βλ. φωτογραφία του Διαγράμματος 2.4 και <http://www.papadopoulos.gr/node/229>). Το κυλινδρικό αυτό δοχείο παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μία από τις βάσεις του κυλίνδρου αποσπάται απλά, για λόγους εύκολης κατανάλωσης του περιεχομένου του προϊόντος, πράγμα που διευκολύνει την μετατροπή του σε ανιχνευτή BERM. Επίσης παρέχει ισχυρότερη δομική αντοχή από ότι μια αντίστοιχη συσκευασία αναψυκτικού όπως προτείνει ο Neher(1994a), προσφέροντας μεγαλύτερο περιθώριο για μηχανικού τύπου επεμβάσεις χωρίς τον φόβο καταστροφής. Για την υλοποίηση του θαλάμου του ανιχνευτή BERM χρησιμοποιούνται δύο τέτοιοι κύλινδροι, ο εξωτερικός και ο εσωτερικός. Ο εσωτερικός ή "εσωτερικός μανδύας" χρησιμοποιείται ως κάθοδος του θαλάμου ιονισμού και θα φορτιστεί έτσι ώστε να δημιουργηθεί το απαραίτητο ηλεκτρικό πεδίο για να λειτουργεί ως κάθοδος του αερόφυλλου πυκνωτή που είναι στην ουσία ο θάλαμος ιονισμού. Ο εξωτερικός κύλινδρος ή "εξωτερικό κέλυφος" παίζει τον ρόλο του περιβλήματος ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης.

Για την κατασκευή του εσωτερικού μανδύα αφαιρούνται με κοπή οι δύο βάσεις από έναν κύλινδρο έτσι ώστε να μείνει μόνο το περιφερειακό τοίχωμα, βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.1. Στη συνέχεια και με προσοχή έτσι ώστε να μην παραμορφωθεί η καμπυλότητά του, χρησιμοποιώντας ένα ψαλίδι κοπής μετάλλων, ο κύλινδρος αυτός διαχωρίζεται κατά μήκος της ραφής του, και αφαιρείται μια διαμήκης λωρίδα μετάλλου πλάτους 4 mm. Η μορφή του αποτελέσματος φαίνεται στη φωτογραφία του Διαγράμματος 4.2. Η αφαίρεση αυτής της διαμήκου λωρίδας επιτρέπει στον εσωτερικό μανδύα να συσπειρωθεί έτσι ώστε να χωρέσει στο εσωτερικό του εξωτερικού κελύφους. Σημειώνεται ότι το εσωτερικό της συσκευασίας των "CAPRICE ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ" (όπως και όλων των συσκευασιών τροφίμων) φέρει μια στρώση από ένα αντιοξειδωτικό μονωτικό μικροφίλμ το οποίο αποτρέπει την επαφή τροφίμων και μεταλλικής συσκευασίας, προλαμβάνοντας έτσι οξειδώσεις των τοιχωμάτων και αλλοιώσεις των τροφίμων (βλ. και Μπόκαρης, 2009). Δεδομένου ότι ο εσωτερικός μανδύας χρησιμοποιείται

ως αγωγήμη κάθοδος αερόφυλλου πυκνωτή, κρίθηκε σκόπιμο να αποξεσθεί αυτό το μονωτικό μικροφίλμ με ατσαλόμαλλο καθαρισμού μαγειρικών σκευών, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.3. Μετά την απόξεση, συγκολλάται στην αποξεσμένη εσωτερική πλευρά του μανδύα, το ένα άκρο του πυκνωτή C1 (μετά από δοκιμές με τιμή 0.630 μF), που θα συντηρεί τη υψηλή τάση του θαλάμου ιονισμού (βλ. και τη φωτογραφία του Διαγράμματος 4.4). Για την καλύτερη λειτουργία του θαλάμου, απαιτείται η χρήση όσο το δυνατόν μικρότερου μήκους ακροδεκτών του πυκνωτή. Ο εσωτερικός μανδύας θα πρέπει να είναι πολύ καλά ηλεκτρικά απομονωμένος από το εξωτερικό κέλυφος στο οποίο τοποθετείται. Για τον σκοπό αυτό περιτυλίχθηκε με επιμέλεια ο εσωτερικός μανδύας με μονωτική ταινία βινιλίου. Ιδιαίτερη φροντίδα δόθηκε στην επαρκή επικάλυψη με μονωτική ταινία των δύο άκρων του εσωτερικού μανδύα, αφού τα "κοφτερά" χείλη του μπορούν να διαπεράσουν μια ανεπαρκή μόνωση και να βραχυκυκλώσουν με τον εξωτερικό κύλινδρο. Δόθηκε επιπλέον προσοχή ώστε η μόνωση να μην μεγαλώσει την διάμετρο του εσωτερικού κυλίνδρου τόσο ώστε να καταστεί αδύνατο να χωρέσει μέσα στον εξωτερικό. Για να διατηρηθεί το κυλινδρικό σχήμα καθ'όλη την διάρκεια της περιτύλιξης, τα άκρα της τομής του εσωτερικού μανδύα συγκολλήθηκαν με τρόπο που φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.5. Ο μονωμένος εσωτερικός μανδύας έχει την μορφή της φωτογραφίας του Διαγράμματος 4.6.

Για την κατασκευή του εξωτερικού κελύφους χρησιμοποιείται ο δεύτερος κύλινδρος. Το εξωτερικό κέλυφος χρησιμεύει ως περίβλημα - θωράκιση από τον ηλεκτρομανητικό θόρυβο για τον θάλαμο ιονισμού. Η κλειστή βάση του κυλίνδρου του εξωτερικού κελύφους μπορεί να χρησιμεύει ως βάση για τη στήριξη της πλακέτας του ηλεκτρονικού κυκλώματος του ανιχνευτικού συστήματος. Από τον ακροδέκτη G (Gate) του JFET J201, όπως αυτό είναι τοποθετημένο στην πλακέτα αυτή ξεκινάει και εκτείνεται κατά τον άξονα του θαλάμου ιονισμού γυμνό χάλκινο καλώδιο (βλ. και στην επόμενη παράγραφο), το οποίο είναι και η άνοδος του θαλάμου. Για το σκοπό αυτό ανοίγεται μια οπή διαμέτρου τουλάχιστον 10 mm στο κέντρο της βάσης του κυλίνδρου, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.7. Με στόχο να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότερη ηλεκτρική σύνδεση του εξωτερικού κελύφους με την γείωση του κυκλώματος, συγκολλώνται πάνω του δύο ακροδέκτες "Α" και "Β", ένας σε κάθε άκρο του κυλίνδρου. Η καταλληλότερη θέση για την συγκόλληση των ακροδεκτών είναι η ραφή του κυλίνδρου, αφού είναι ακάλυπτη από την εμπορική εκτύπωση και ως εκτούτου η συγκόλληση γίνεται απευθείας στο μέταλλο χωρίς απόξεση (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.8).

Στον ακροδέκτη "B" συνδέεται με κοχλία και περικόχλιο το άλλο άκρο του πυκνωτή C1 (0.630 μ F) (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.9). Για την καλύτερη λειτουργία του θαλάμου, υπενθυμίζεται ότι απαιτείται η χρήση όσο το δυνατόν μικρότερου μήκους ακροδεκτών του πυκνωτή.

4.4 Κατασκευή ηλεκτρονικού κυκλώματος

Σύμφωνα με τον Neher (1994a), προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο ηλεκτρονικός θόρυβος συστήνεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα να συγκροτηθεί με την τεχνική "point-to-point". Η τεχνική αυτή συνίσταται στην απευθείας σύνδεση των ακροδεκτών των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του κυκλώματος μεταξύ τους. Οι ακροδέκτες αυτοί πρέπει να έχουν κατά το δυνατό μικρότερο μήκος. Η τεχνική αυτή ενέχει κινδύνους για τον μη πεπειραμένο χρήστη, καθώς περιπλέκει την διαρρύθμιση του κυκλώματος, δυσκολεύει την "ανάγνωση του κυκλώματος" και καθιστά δύσκολη την διόρθωση τυχόν σφαλμάτων. Επίσης εγκυμονεί την πιθανότητα βραχυκυκλώματος δεδομένου ότι οι ακροδέκτες των εξαρτημάτων είναι εκτεθειμένοι και μπορούν να έρθουν σε επαφή τόσο με "λάθος" εξαρτήματα όσο και με τυχόν άλλα μεταλλικά μέρη. Εναλλακτικά με την τεχνική "point-to-point" το ηλεκτρονικό κύκλωμα μπορεί να υλοποιηθεί είτε σε διάτρητη πλακέτα "γενικών κατασκευών" (βλ. και φωτογραφία στο Διάγραμμα 4.10), είτε σε πλακέτα "τυπωμένου κυκλώματος". Για την εδώ εφαρμογή αποφασίσθηκε η υλοποίηση να γίνει σε πλακέτα "γενικών κατασκευών" η οποία συγκεντρώνει τα εξής πλεονεκτήματα:

- (α) δεν έχει το κόστος (σε ανθρωποώρες) της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος
 - (β) είναι εύκολη στην κατασκευή, οι "διαδρομές σύνδεσης" εξαρτημάτων μπορούν να γίνονται με απλά καλώδια χαλκού κατάλληλα μικρού μήκους
 - (γ) είναι πολύ κοντά στην τεχνική "point-to-point"
 - (δ) παρέχει στερεότητα και στήριξη των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων σε μόνιμη θέση
- και επιπλέον σε σχέση με την πλακέτα "τυπωμένου κυκλώματος"
- (ε) δεν χρειάζεται σχεδίαση και εκτύπωση-εμφάνιση τυπωμένου κυκλώματος.

Όπως ήδη σημειώθηκε, στην κλειστή βάση του εξωτερικού κελύφους μπορεί να στηρίζεται η πλακέτα του ηλεκτρονικού κυκλώματος. Η πλακέτα μπορεί να βιδώνεται πάνω στην βάση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή της έδραση. Για το σκοπό αυτό πάνω σε μία πλακέτα γενικών κατασκευών χαράχθηκε με διαβήτη ένα κύκλος διαμέτρου 68mm, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.10. Η διάμετρος αυτή είναι ακριβώς ίση με την εξωτερική

διάμετρο του εξωτερικού κελύφους. Εσωτερικά του κύκλου, και με απόσταση κέντρων ~ 4 mm από την περιφέρειά του, ανοίγονται τουλάχιστον 2 αντιδιαμετρικές οπές από τις οποίες περνούν οι βίδες συγκράτησης της πλακέτας πάνω στην κλειστή βάση. Θα πρέπει οι οπές αυτές να έχουν διάμετρο συμβατή με τις χρησιμοποιούμενες βίδες. Στην συνέχεια ο κυκλικός αυτός δίσκος αποκόπτεται από την πλακέτα και τοποθετείται πάνω στην κλειστή βάση του εξωτερικού κελύφους, όπου με οδηγό τις 3 ήδη ανοιγμένες οπές, ανοίγονται οι οπές από όπου περνούν οι βίδες συγκράτησης της πλακέτας (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.11). Προτείνεται η χρήση βιδών τύπου "λαμαρινόβιδας", έτσι ώστε να αποφευχθεί η ανάγκη περικοχλίων και κλειδιών για την σύσφιξή τους.

Ο διαθέσιμος χώρος για την δημιουργία του ηλεκτρονικού κυκλώματος είναι προφανώς, αυτός ο κυκλικός δίσκος διαμέτρου 68 mm. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα μεταφέρθηκε στην πλακέτα με βάση τα σχέδια που παρουσιάστηκαν στο 2^ο Κεφάλαιο με τρόπο που έλαβε υπόψιν κυρίως την ανάγκη ελαχιστοποίησης του ηλεκτρονικού θορύβου ως εξής:

- (1) Στοιχεία του κυκλώματος τα οποία διαχειρίζονται ισχύ (αντιστάσεις) πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση από το JFET J201 και τους αγωγούς που μεταφέρουν το σήμα του.
- (2) Ο πυκνωτής αποσύζευξης C3 πρέπει να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν εγγύτερα στους ακροδέκτες τροφοδοσίας του TE, προκειμένου να του εξασφαλίζει τροφοδοσία τάσης χωρίς θόρυβο και χωρίς αυξομειώσεις.
- (3) Πρέπει να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική γείωση του εξωτερικού κελύφους της θωράκισης καθώς και η σύνδεσή του με την γείωση του ηλεκτρονικού κυκλώματος.
- (4) Το μήκος των αγωγών που μεταφέρουν σήμα από το JFET προς τον TE πρέπει να περιορισθεί στο ελάχιστο δυνατό, ώστε να μην υπάρχει απώλεια σήματος σε αυτούς.
- (5) Πρέπει στο μέτρο του δυνατού να αποφεύγεται η τοποθέτηση γυμνών μεταλλικών αγωγών σε πολύ κοντινή μεταξύ τους απόσταση για να μην δημιουργούνται αερόφυλλα πυκνωτικά φαινόμενα.

και επιπλέον

- (6) Το JFET J201, όντας το "αισθητήριο όργανο" της μετρητικής διάταξης, θα πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η ικανότητα του να συλλαμβάνει παλμούς, ενώ ταυτοχρόνως να απομονώνεται από πηγές εξωτερικού θορύβου. Για αυτόν τον λόγο, πρέπει να συγκολληθεί στην πίσω

πλευρά των συγκολλήσεων της πλακέτας, ακριβώς στο κέντρο της ώστε να ευθυγραμμίζεται με την οπή που ανοίχθηκε στην κλειστή βάση του εξωτερικού κελύφους (βλ. και στην προηγούμενη παράγραφο).

Με βάση αυτά:

- Στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.12 υπάρχει το τοπογραφικό μιας ενδεικτικής υλοποίησης του κυκλώματος, όπως δημιουργήθηκε με λογισμικό σχεδιασμού τυπωμένων κυκλωμάτων. Παρόλο το γεγονός ότι η ενδεικτική υλοποίηση έχει σχεδιαστεί για πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, το σχέδιο αυτό είναι καλός οδηγός για τη συγκρότηση του κυκλώματος σε πλακέτα γενικών κατασκευών.
- Στην άμεση περιοχή του JFET βρίσκεται και η ρυθμιστική αντίσταση ($R1B$) της τάσης που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη Drain του. Το ποτενσιόμετρο της ρύθμισης επιλέχθηκε να είναι ένα πολύστροφο ποτενσιόμετρο ακριβείας, στην περιοχή των $20 - 22k\Omega$, συνδεδεμένο σε σειρά με μία αντίσταση $10k\Omega$ ($R1A$), βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.13), ώστε να τηρούνται όσα έχουν σημειωθεί για την αντίσταση $R1=R1A+R1B$ στο 2^ο Κεφάλαιο.
- Τηρώντας τη σύσταση για το μικρότερο δυνατό μήκος αγωγών, το ολοκληρωμένο κύκλωμα Συγκριτή/Τελεστικού Ενισχυτή τοποθετείται όσο το δυνατόν κοντύτερα στο JFET. Η διαδρομή από την έξοδο του JFET (ακροδέκτης Drain) μέχρι τον πυκνωτή $C2$ και τον ακροδέκτη 6 (Inverting Input B) του ολοκληρωμένου κατασκευάσθηκε όσο το δυνατόν μικρότερη. Ως εκ τούτου, το ολοκληρωμένο κύκλωμα του LM392N τοποθετήθηκε πολύ κοντά στο κέντρο της πλακέτας, δίπλα από το JFET, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.14. Για την ευκολότερη επιδιόρθωση του κυκλώματος, αν χρειασθεί, το LM392N τοποθετήθηκε πάνω σε μια 8-άκιδη βάση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- Ο μεγάλος πυκνωτής αποσύζευξης ($C3$) συμβάλει στην εξάλειψη εξωτερικού ηλεκτρικού θορύβου. Ο πυκνωτής αυτός συνδέθηκε σχεδόν απευθείας πάνω στους ακροδέκτες τροφοδοσίας (pins 4 και 8) του ολοκληρωμένου LM392N. Για τον αποτελεσματικότερο περιορισμό του θορύβου λόγω τροφοδοσίας, επιλέχθηκε για την τροφοδοσία του κυκλώματος η χρήση μπαταρίας 9V, η οποία αναμένεται να παρέχει αυτονομία περίπου μίας εβδομάδας.
- Το τμήμα του διαιρέτη τάσης του κυκλώματος που ορίζει την τάση της "εικονικής γης" στον Τελεστικό Ενισχυτή, το οποίο αποτελείται από τις αντιστάσεις $R2$ και $R3$ τοποθετήθηκε κοντά στα καλώδια που τροφοδοτούν το κύκλωμα με την τάση της μπαταρίας των 9V. Χρησιμοποιήθηκαν εκεί ίσες

αντιστάσεις ικανής μεγάλης τιμής έτσι ώστε να διαρρέονται από ελάχιστο ρεύμα αλλά ταυτόχρονα ικανά μικρής τιμής ώστε να γίνεται η επιθυμητή διαίρεση τάσης, δηλαδή να δημιουργείται δυναμικό μισής τάσης τροφοδοσίας ανάμεσά τους (4.5V για πηγή τροφοδοσίας 9V). Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής επιλέχθηκαν 2 αντιστάσεις 220kΩ υψηλής ακρίβειας 1% (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.15). Οι τιμές των αντιστάσεων R2 και R3 όπως προτείνονται από τον Neher(1994a) είναι πολύ μεγαλύτερες (1MΩ), αλλά για τους λόγους που επισημαίνονται και στο 3^ο Κεφάλαιο προτιμήθηκαν μικρότερες τιμές. Στην περίπτωση προβλήματος με την διαίρεση τάσης, θα μπορούσαν να επιλεγούν ακόμα μικρότερες αντιστάσεις έως και 100kΩ/1%.

- Για το τμήμα του κυκλώματος που ορίζει την τάση της αναφοράς στον Συγκριτή, το οποίο αποτελείται από τις αντιστάσεις R6 και R7 χρησιμοποιήθηκαν ίσες αντιστάσεις ικανής μεγάλης τιμής έτσι ώστε να διαρρέονται από ελάχιστο ρεύμα αλλά ταυτόχρονα ικανά μικρής τιμής ώστε να γίνεται η επιθυμητή ρύθμιση τάσης. Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής επιλέχθηκαν 2 αντιστάσεις 220kΩ υψηλής ακρίβειας 1% (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.16). Οι τιμές των αντιστάσεων R6 και R7 όπως προτείνονται από τον Neher(1994a) είναι πολύ μεγαλύτερες (1MΩ), αλλά για τους λόγους που επισημαίνονται και στο 3^ο Κεφάλαιο προτιμήθηκαν μικρότερες τιμές. Στην περίπτωση προβλήματος με τη ρύθμιση τάσης, θα μπορούσαν να επιλεγούν ακόμα μικρότερες αντιστάσεις έως και 100kΩ/1%.
- Το δίκτυο αντιστάσεων αρνητικής ανάδρασης (R4 και R5) τοποθετήθηκε σε προσβάσιμη θέση και με την μία από τις δύο αντιστάσεις σε θέση τέτοια η οποία θα διευκολύνει την αποκοπή της, αν χρειασθεί (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.17. Υπενθυμίζεται ότι με αποκοπή της μίας από τις δύο αντιστάσεις, καθίσταται δυνατή η ρύθμιση της ενίσχυσης.
- Για την δοκιμαστική παραλαβή του σήματος από το JFET (π.χ. από παλμογράφο) τοποθετήθηκε ένας ακροδέκτης δειγματοληψίας (probe lug) στην κάθοδο της διόδου D1, στην έξοδο του Τελεστικού Ενισχυτή (ακροδέκτης 7, βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.18). Αυτό το σημείο ελέγχου προτείνεται να υπάρχει για την κατ'αρχήν διαπίστωση ότι ο θάλαμος ιονισμού της εδώ κατασκευής παράγει σήματα οφειλόμενα σε -α ραδιενεργές διασπάσεις.
- Για να επιτευχθεί η αποτελεσματική γείωση του κυκλώματος χρειάστηκε να γίνει καλή σύνδεση της γείωσης της πλακέτας (αρνητικός πόλος της πηγής τροφοδοσίας των 9V) με το εξωτερικό κέλυφος. Για το σκοπό αυτό, συγκολλήθηκε στη γείωση της πλακέτας μία προέκταση καλωδίου. Η προέκταση συνδέθηκε με χρήση κοχλία, περικοχλίου και ασφαλιστικού

δακτυλιδιού με τον ακροδέκτη "Α" του εξωτερικού κελύφους, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.19.

- Για την αποτελεσματικότερη σύνδεση της εξόδου του Συγκριτή με οποιοδήποτε όργανο μετρήσεων παλμών τύπου TTL, προτείνεται η σύνδεση του ακροδέκτη 1 του ολοκληρωμένου LM392N με μια αντίστασης για "pull-up" με τιμή 10kΩ.

4.5 Σύνδεση θαλάμου ιονισμού και κυκλώματος

Η πλακέτα όπως συγκροτήθηκε στερεώθηκε με λαμαρινόβιδες στην βάση του εξωτερικού κελύφους, με την πλευρά του JFET προς την βάση. Δεδομένης της διαμέτρου της πλακέτας, αυτή στηρίζεται στο "χείλος" της βάσης του εξωτερικού κελύφους και η πλευρά συγκολλήσεων δεν μπορεί έτσι να έρθει σε επαφή με τη μεταλλική βάση και να βραχυκυκλώσει (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.20) Το JFET που βρίσκεται τοποθετημένο στην πλευρά συγκολλήσεων διέρχεται μέσα από την οπή της βάσης (~10mm) και εισέρχεται στο εσωτερικό του κελύφους. Μέσα στον κλωβό Faraday που σχηματίζει το κέλυφος, το JFET θεωρείται καλά μονωμένο από ηλεκτρονικό θόρυβο. Οι ακροδέκτες του JFET που είναι συγκολλημένοι στην πλακέτα είναι οι ακροδέκτες Drain (D) και Source (S), με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μεταξύ τους απόσταση. Ο ακροδέκτης Gate (G), ο οποίος συνδέεται –όπως έχει σημειωθεί– με την άνοδο του θαλάμου ιονισμού, κάμπτεται κατά 180° για να συγκολληθεί με τον αγωγό που παίζει τον ρόλο της ανόδου (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.21). Ο αγωγός αυτός είναι ένα λεπτό απογυμνωμένο χάλκινο σύρμα προερχόμενο από καλώδιο δικτύου LAN (UDP cable, Cat5), πολύ μικρής διαμέτρου (AWG 24 – 32, δηλαδή διαμέτρου 0.5 έως 0.2 mm, σύμφωνα με τη σύσταση του Neher, 1994a), μήκους ~10 mm μεγαλύτερου από το ύψος του κυλίνδρου του εξωτερικού κελύφους. Για να διευκολύνεται η αξονική τοποθέτηση του αγωγού αυτού στο εσωτερικό του κελύφους πρέπει ο ακροδέκτης G του JFET να βρίσκεται επί του νοητού άξονα που διέρχεται από το κέντρο του κυλίνδρου, και να δείχνει προς την άλλη, ανοικτή πλευρά του. Για την πλήρη συγκρότηση του θαλάμου ιονισμού BERM, στο σημείο αυτό της κατασκευής εισάγεται ο εσωτερικός μανδύας όπως έχει κατασκευαστεί, μέσα στο εξωτερικό κέλυφος. Ο ελεύθερος ακροδέκτης του πυκνωτή C1 συνδέεται με τον ακροδέκτη "Β" (βλ. και την προηγούμενη παράγραφο και την φωτογραφία του Διαγράμματος 4.9). Έπειτα το ελεύθερο άκρο του σύρματος της ανόδου στερεώνεται με κατάλληλο τρόπο στην ανοικτή πλευρά του θαλάμου ιονισμού, για να περιοριστούν οι ταλαντώσεις του. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται το λευκό πώμα της συσκευασίας των "CAPRICE ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ", στου οποίου το κέντρο ανοίγεται μία μικρή οπή. Από την οπή αυτή περνά το σύρμα της ανόδου, και κάμπτεται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η συγκράτησή του. Επιλέχθηκε για τη

στερέωση το λευκό πλαστικό πώμα, γιατί ως πλαστικό, αποτελεί ηλεκτρικό μονωτή, εμποδίζοντας την δημιουργία ρευμάτων διαρροής μεταξύ κελύφους και ανόδου (βλ. και την φωτογραφία του Διαγράμματος 4.22).

Μετά τη σύνδεση θαλάμου ιονισμού και κυκλώματος όπως περιγράφηκε προηγούμενα, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθοι βασικοί έλεγχοι: (α) ελέγχθηκε η μόνωση μεταξύ εσωτερικού μανδύα και εξωτερικού κελύφους, (β) ελέγχθηκε η καλή ηλεκτρική σύνδεση του εξωτερικού κελύφους με την γείωση της πλακέτας και (γ) ελέγχθηκε αν υπάρχουν βραχυκυκλώματα μεταξύ εξωτερικού κελύφους και και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του κυκλώματος. Στο σημείο αυτό μετρήθηκε η χωρητικότητα του θαλάμου ιονισμού BERM (μετρημένη μεταξύ ανόδου και καθόδου) και βρέθηκε στην περιοχή των 7pF, που είναι τιμή συμβατή με τα όσα ναφέρει ο Neher (1994a).

4.6 Προκαταρκτικός έλεγχος

Το κύκλωμα όπως είναι συνδεδεμένο με τον θάλαμο ιονισμού, τροφοδοτήθηκε με την αναγκαία τάση λειτουργίας 9V από αντίστοιχη μπαταρία και ακολούθησαν οι έλεγχοι που περιγράφονται στο 2^ο Κεφάλαιο (παράγραφος 2.9). Βρέθηκε ότι ο χρόνος σταθεροποίησης του κυκλώματος είναι στην περιοχή 2 – 10 min και ότι λαμβάνονται οι αναμενόμενες τιμές από τα αντίστοιχα σημεία ελέγχου.

4.7 Τροφοδοσία υψηλής τάσης

Η διατήρηση του ηλεκτρικού πεδίου του θαλάμου ιονισμού στα -500V γίνεται, όπως έχει σημειωθεί, μέσω του πυκνωτή C1. Η φόρτιση του πυκνωτή αυτού απαιτεί κατάλληλο τροφοδοτικό, το οποίο μετά την φόρτιση μπορεί να αποσυνδέεται. Ικανό κρίνεται ένα τροφοδοτικό το οποίο είναι δυνατόν να αποδίδει -500V, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ρεύματος (ελάχιστη ισχύ). Στην περίπτωση που είναι επιθυμητό η διατήρηση του ηλεκτρικού πεδίου του θαλάμου ιονισμού στα -500V να γίνεται χωρίς πυκνωτή αλλά απευθείας από αυτό το τροφοδοτικό θα πρέπει επιπλέον η παρεχόμενη τάση να είναι εξαιρετικά σταθεροποιημένη, διότι τυχόν θόρυβος σε αυτή, θα προκαλούσε άμεσα την διέγερση του JFET J201. Αυτό με τη σειρά του θα δημιουργούσε σήμα χωρίς φυσική σημασία.

Στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας διατίθενται τροφοδοτικά αυτής της ποιότητας, ως μονάδες πυρηνικών ηλεκτρονικών εταιρείας κατασκευής CANBERRA παρόλα αυτά δεν προτιμήθηκαν, διότι τυχόν κακός χειρισμός τους πιθανόν να τους προξενούσε βλάβη με μεγάλο κόστος. Η κατασκευή αντίστοιχου τροφοδοτικού προφανώς ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, οπότε αναζητήθηκε αξιόπιστη και χαμηλού κόστους εναλλακτική λύση για την αναγκαία τροφοδοσία από το ελεύθερο εμπόριο. Σύμφωνα με την έρευνα που

πραγματοποιήθηκε τροφοδοτικά υψηλής τάσης με αυτές περίπου τις προδιαγραφές υπάρχουν σε πολλές συσκευές που χρησιμοποιούν λυχνίες Nixie, επιγραφές Neon αλλά και λυχνίες ταχείας εκφόρτισης όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στα flash των φωτογραφικών μηχανών. Τα τροφοδοτικά κυκλώματα αυτά, είναι ευρέως διαθέσιμα στην αγορά και είναι ικανά να αποδώσουν περισσότερα από 700V με την χρήση εμπορικών μπαταριών καθημερινής χρήσης. Μια οικονομική πηγή ενός τέτοιου τροφοδοτικού κυκλώματος είναι οι φωτογραφικές μηχανές μιας χρήσης με φλας.

Για τους σκοπούς της Διπλωματικής Εργασίας επιλέχθηκε το τροφοδοτικό flash που αποδίδει 300V με τάση τροφοδοσίας 1.5V, για τη φωτογραφική μηχανή μιας χρήσης "KODAK FUNSAVER" (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.23). Η επιλογή έγινε λόγω (α) της ευκολίας αγοράς της μηχανής από πολλές κοινές πηγές όπως υπεραγορές Super-Market, περίπτερα, καταστήματα φωτογραφικού υλικού κλπ, (β) της χαμηλής τιμής της (~10€, 2010) και (γ) της ευκολίας αποσυναρμολόγησής της με βάση και οδηγίες που βρέθηκαν στο Διαδίκτυο:

βλ. και http://gicl.cs.drexel.edu/wiki/Group_32_-_Kodak_Funsaver_Camera

Κατά τις οδηγίες αυτές η πλακέτα του τροφοδοτικού κυκλώματος του flash, βρίσκεται δίπλα στον φακό της φωτογραφικής, μέσα στην συσκευή. Για να γίνει δυνατή η αφαίρεση της πλακέτας, αποσυναρμολογήθηκε η φωτογραφική μηχανή. Εξαιρετική προσοχή χρειάζεται κατά την αποσυναρμολόγηση, διότι ο πυκνωτής φόρτισης του flash (ο οποίος φαίνεται στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.24) μπορεί να φέρει αποθηκευμένο ηλεκτρικό φορτίο και υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Δεν πρέπει επομένως να έρθουν σε επαφή αγωγίμα υλικά ή τα χέρια του αποσυναρμολογητή με τους ακροδέκτες του πυκνωτή φόρτισης του flash. Για την ασφαλέστερη αποσυναρμολόγηση, προτείνεται η αποφόρτιση του πυκνωτή μέσω μίας μεγάλης αντίστασης περίπου 150kΩ, ισχύος 2 Watt, τα άκρα της οποίας θα πρέπει να έρθουν σε επαφή με τους δύο ακροδέκτες του για περίπου 5 δευτερόλεπτα.

Μετά την εκφόρτιση και την αποσυναρμολόγηση αφαιρέθηκαν από την πλακέτα η λυχνία του flash και τα μεταλλικά βοηθήματα στήριξής της. Στη συνέχεια ελέγχθηκε αν ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής υψηλής τάσης του τροφοδοτικού όπως έχει, είναι ικανός να αντέξει την τη ζητούμενη φόρτιση στα -500V. Βρέθηκε ότι είναι προδιαγραφών 80μF/330V και ως εκτούτου είναι ακατάλληλος. Ο πυκνωτής αφαιρέθηκε και συγκολλήθηκαν στην θέση του, δύο όμοιοι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές σε σειρά 80μF/330V. Με αυτόν τον τρόπο την σύνδεση δηλ. όμοιων πυκνωτών σε σειρά η αντοχή σε Volt διπλασιάσθηκε, ενώ η συνολική χωρητικότητα υποδιπλασιάσθηκε και το τροφοδοτικό κύκλωμα μπορεί να

υπηρετήσει το σκοπό της φόρτισης του πυκνωτή C1. Ο διακόπτης επαφής που ενεργοποιεί την διαδικασία φόρτισης του flash φαίνεται στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.25 και αποτελείται από δύο μεταλλικά φύλλα τα οποία κρατούνται σε απόσταση μεταξύ τους μέσω κολλητικής ταινίας. Η βραχυκύκλωση αυτών των φύλλων οδηγεί στην φόρτιση του πυκνωτή του flash. Ο διακόπτης αυτός αντικαταστάθηκε από ένα button κανονικά ανοιχτοκυκλωμένο.

Στη συνέχεια, στα άκρα των δύο πυκνωτών 80μF/330V συγκολλήθηκαν δύο μονωμένοι αγωγοί διατομής τουλάχιστον 1 mm² για να μεταφέρουν την υψηλή τάση στον προς-φόρτιση πυκνωτή C1. Για προφανείς λόγους εξασφάλισης της ορθής πολικότητας φόρτισης οι ακροδέκτες των αγωγών επιλέχθηκαν με διαφορετικό χρώμα (λευκό για την αρνητική υψηλή τάση, "-HV", μαύρο για το σήμα της γείωσης "GND"), βλ. και τη φωτογραφία του Διαγράμματος 4.26. Ο λευκός ακροδέκτης συνδέεται στο άκρο του πυκνωτή που είναι συγκολλημένο στον εσωτερικό μανδύα, ενώ ο μαύρος ακροδέκτης συνδέεται στον ακροδέκτη του πυκνωτή C1 που είναι συνδεδεμένος με το εξωτερικό κέλυφος. Τέλος έγιναν οι κατάλληλες καλωδιώσεις για τη σύνδεση του τροφοδοτικού με δύο μπαταρίες AA σε σειρά, ώστε να διπλασιαστεί η τάση εξόδου δεδομένου ότι διπλασιάσθηκε η τάση εισόδου, έγινε 3V (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.27).

Έχοντας μετατρέψει το τροφοδοτικό για να υπηρετεί τους σκοπούς της φόρτισης του πυκνωτή C1, επιχειρήθηκε η δοκιμαστική φόρτισή του. Για αυτό ενεργοποιήθηκε το button. Η πορεία της φόρτισης παρακολουθείται από το ίδιο το τροφοδοτικό μέσω κατάλληλου κυκλώματος με LED (κίτρινο @1.3V) το οποίο ανάβει όταν η τάση ξεπεράσει τα -220V. Παρόλαυτά αυτό το κύκλωμα όπως είναι απλά βεβαιώνει ότι η τάση του τροφοδοτικού είναι κοντά ή παραπάνω από -300V. Δεν πληροφορεί αν είναι κοντά στα -500V. Δεδομένου ότι στην εδώ εφαρμογή η φόρτιση ολοκληρώνεται στα -500V, προστέθηκε παράλληλα με το κίτρινο LED ένα δεύτερο μεγαλύτερο LED (κόκκινο @2V), το οποίο ανάβει όταν η τάση ξεπεράσει τα 480V. Όταν ανάψει και το δεύτερο LED θεωρείται επομένως ότι η διαδικασία της φόρτισης έχει σχεδόν ολοκληρωθεί (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.28). Τα παραπάνω επαληθεύθηκαν και με πολύμετρο παράλληλα συνδεδεμένο στα άκρα του τροφοδοτικού. Για τη σωστή λειτουργία του θαλάμου ιονισμού BERM, συστήνεται μετά τη φόρτιση του πυκνωτή C1, το τροφοδοτικό να αποσυνδέεται. Η χωρητικότητα του πυκνωτή C1 όπως επιλέχθηκε (630nF/830V), είναι αρκετή για μακρόχρονη λειτουργία του ανιχνευτικού συστήματος επί αρκετές ημέρες στην περιοχή 5 έως και 7 (βλ. και Neher, 1994a).

4.8 Κλωβός για θωράκιση από ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο

Η ύπαρξη εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού θορύβου αποτελεί μια ισχυρή αιτία αποτυχίας της εφαρμογής. Η σημασία της απομόνωσης του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι εξαιρετική και πρέπει να εξασφαλίζεται. Ως αποτελεσματικότερη θωράκιση, αποφασίσθηκε ο εγκλεισμός του θαλάμου ιονισμού BERM εντός ενός κλωβού Faraday. Κλωβός Faraday ονομάζεται ένας όγκος του οποίου το σύνορο ορίζεται από αγωγίμο υλικό. Ο όγκος αυτός απομονώνεται από εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, αφού οι ηλεκτρικές φορτίσεις δεσμεύονται στην κλειστή διαδρομή του περιβλήματος, αφήνοντας ανεπηρέαστο το εσωτερικό του. Τον ρόλο ενός κλωβού Faraday για το ανιχνευτικό σύστημα BERM παίζουν 2 κανονικές κονσέρβες συσκευασίας συμπυκνωμένου γάλακτος, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.29. Η μία συσκευασία σφηνώνεται μέσα στην άλλη, δημιουργώντας ένα κέλυφος σχήματος κλειστού κυλίνδρου, μέσα στον οποίο περιέχεται ο θάλαμος ιονισμού BERM. Για να επιτευχθεί η σφιχτή συναρμογή των δύο συσκευασιών, αποκόπτεται από την μία η πάνω βάση που φέρει το δακτυλίδι ανοίγματος και δημιουργούνται σχισμές στο χείλος της όπως φαίνεται και στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.30. Η ίδια βάση της δεύτερης συσκευασίας αφαιρείται χρησιμοποιώντας ένα ανοιχτήρι κονσέρβας έτσι ώστε να διευκολυνθεί η διείσδυση του ενός κυλίνδρου μέσα στον άλλο όπως φαίνεται στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.31. Κοντά στην βάση του ενός κυλίνδρου, συγκολλήθηκε ομοίως όπως στην παράγραφο 4.3, ένας ακροδέκτης για να διευκολύνει την σύνδεσή του με την γείωση, βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.32. Ο κλωβός δημιουργεί έτσι ηλεκτρικό κύκλωμα μεταξύ των δύο ημι-κυλίνδρων οι οποίοι τον αποτελούν, αλλά και της γείωσης, γεγονός το οποίο επαληθεύεται με πολύμετρο. Ο ένας από τους δύο κυλίνδρους έχει μια οπή από την οποία διέρχονται τα καλώδια που τροφοδοτούν το κύκλωμα, καθώς και τα καλώδια των σημάτων εξόδου (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.33).

4.9 Τελική μορφή – Συμπεράσματα

Στον Πίνακα 4.1 δίνεται ο κατάλογος των εξαρτημάτων που χρειάζονται για την κατασκευή του ηλεκτρονικού κυκλώματος του ανιχνευτικού συστήματος. Οι βασικές διαφορές του καταλόγου αυτού από τα εξαρτήματα που προτείνονται από τον Neher(1994a) είναι στις τιμές των αντιστάσεων R1A, R1B, R2, R3, R6 και R7 οι οποίες επιλέχθηκαν μετά από διαδικασίες βελτιστοποίησης του κυκλώματος. Για την καταγραφή των σημάτων του ανιχνευτικού συστήματος BERM, όπως αυτά παράγονται από τα –α σωματίδια του Ραδονίου εξαιτίας του ιονισμού η έξοδος του Τελεστικού Ενισχυτή του κυκλώματος του BERM (δηλ. το pin 7 του ολοκληρωμένου LM392N), μπορεί να οδηγείται απευθείας σε έναν ακροδέκτη στον

οποίο μπορεί να συνδεθεί παλμογράφος ή άλλο καταγραφικό σύστημα, όπως θα περιγραφεί και στο επόμενο 5^ο Κεφάλαιο. Όπως ήδη αναφέρθηκε η κατασκευή του ανιχνευτικού συστήματος με τις πιο πάνω προδιαγραφές πραγματοποιήθηκε σε δύο εκδόσεις: (α) το **Δοκιμαστικό Πρωτότυπο** και (β) το **Οριστικό Πρωτότυπο**. Το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο, κατασκευάστηκε προκειμένου να γίνουν δοκιμές καλής λειτουργίας με τις οποίες να εντοπιστούν οι αδυναμίες και οι δυνατότητες του ανιχνευτικού συστήματος BERM. Το Οριστικό Πρωτότυπο κατασκευάστηκε προκειμένου να ενσωματωθεί η εμπειρία της δοκιμαστικής κατασκευής σε ένα ανιχνευτικό σύστημα τύπου BERM με όσο το δυνατόν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Στη σειρά φωτογραφιών του Διαγράμματος 4.34 διακρίνεται το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο σε διάφορα ενδιάμεσα στάδια της κατασκευής. Γίνεται φανερό ότι το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο κατασκευάστηκε επίτηδες με προχειρότερο τρόπο για να διαπιστωθεί η εφαρμοσιμότητα των οδηγιών του Neher (1994a,b,c) σχετικά με τη χρήση απλού θαλάμου ιονισμού για την μέτρηση συγκεντρώσεων Ραδονίου στον αέρα. Στη σειρά φωτογραφιών του Διαγράμματος 4.35 διακρίνεται το Οριστικό Πρωτότυπο σε διάφορα ενδιάμεσα στάδια της κατασκευής. Γίνεται φανερό ότι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του Οριστικού Πρωτοτύπου είναι ποιοτικότερα. Πιο συγκεκριμένα, το Οριστικό Πρωτότυπο τοποθετήθηκε πάνω σε μια ξύλινη σταθερή επιφάνεια, όπου όλες οι μονάδες του συστήματος (ανιχνευτής, ηλεκτρονικό κύκλωμα, ηλεκτρομαγνητική θωράκιση, τροφοδοτικό, μπαταρίες κλπ) παραμένουν σταθερά προσδεδμένες πάνω της. Στη φωτογραφία του Διαγράμματος 4.36, προσδιορίζονται οι μονάδες αυτές και οι διακόπτες χειρισμού με κατάλληλη σήμανση. Ο τρόπος συγκρότησης του Οριστικού Πρωτοτύπου εξασφαλίζει την ευκολότερη μεταφορά της ανιχνευτικής διάταξης, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει την επίδραση εξωτερικών κραδασμών. Αυτό είναι αναγκαίο καθόσον σε ένα τέτοιο ανιχνευτικό σύστημα τυχόν κραδασμοί, προκαλούν ταλαντώσεις της ευαίσθητης ανόδου, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η χωρητικότητα του θαλάμου ιονισμού, και να άγει το JFET J201 προκαλώντας ψευδείς μετρήσεις. Παρόλα αυτά, δεν είναι βέβαιο ότι τα αυξημένα ποιοτικά χαρακτηριστικά του Οριστικού Πρωτοτύπου προστατεύουν επαρκώς τον θάλαμο ιονισμού από την εξωτερική επίδραση πολύ αυξημένης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, πχ εκείνης από κινητά τηλέφωνα, ασύρματα Modem, ή/και Bluetooth ή φούρνους μικροκυμάτων. Δοκιμές σχετικά με αυτές τις αρνητικές επιδράσεις περιγράφονται στο επόμενο 6^ο Κεφάλαιο της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας. Σε εκείνο το Κεφάλαιο δίνονται επίσης και οι ειδικές οδηγίες χρήσης του Οριστικού Πρωτοτύπου.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΟΥ 4^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Τεμάχια	Εξαρτήματα	Παρατηρήσεις
2	Αντιστάσεις 1ΜΩ	
4	Αντιστάσεις 220 kΩ	Ακριβείας 1%-2%
2	Αντιστάσεις 10 kΩ	
1	Πολύστροφο trimmer 20 kΩ	R1B
1	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 470μF	Προδιαγραφών >10V
1	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 47μF	Προδιαγραφών >10V
1	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 1μF	Προδιαγραφών >10V
1	Δίοδος 1N4148	ή 1N914 (αντίστοιχη)
1	Βάση ολοκληρωμένων 8 ακροδεκτών	
1	LM392N Τελεστικό ενισχυτή / Συγκριτή	
1	JFET J201	Συσκευασία TO-92
1	Βάση μπαταρίας 9V	
1	Διάτρητη πλακέτα γενικών εφαρμογών	

Πίνακας 4.1

Κατάλογος Εξαρτημάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ 4^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



Διάγραμμα 4.1

Συσκευασία "CAPRICE" χωρίς τις δύο βάσεις



Διάγραμμα 4.2

Ο κύλινδρος μετά την τομή και την αφαίρεση μια λωρίδας 4mm



Διάγραμμα 4.3

Πριν (αριστερά) κ μετά (δεξιά) την απόξυση εσωτερικού μικροφίλμ με ατσαλλόμαλλο



Διάγραμμα 4.4

Πυκνωτής υψηλής τάση συγκολλημένος στον εσωτερικό μανδύα



Διάγραμμα 4.5

Προετοιμασία κυλίνδρου για περιτύλιξη



Διάγραμμα 4.6

Ηλεκτρικά μονωμένος κύλινδρος



Διάγραμμα 4.7

Οπή στην βάση του εξωτερικού κυλίνδρου



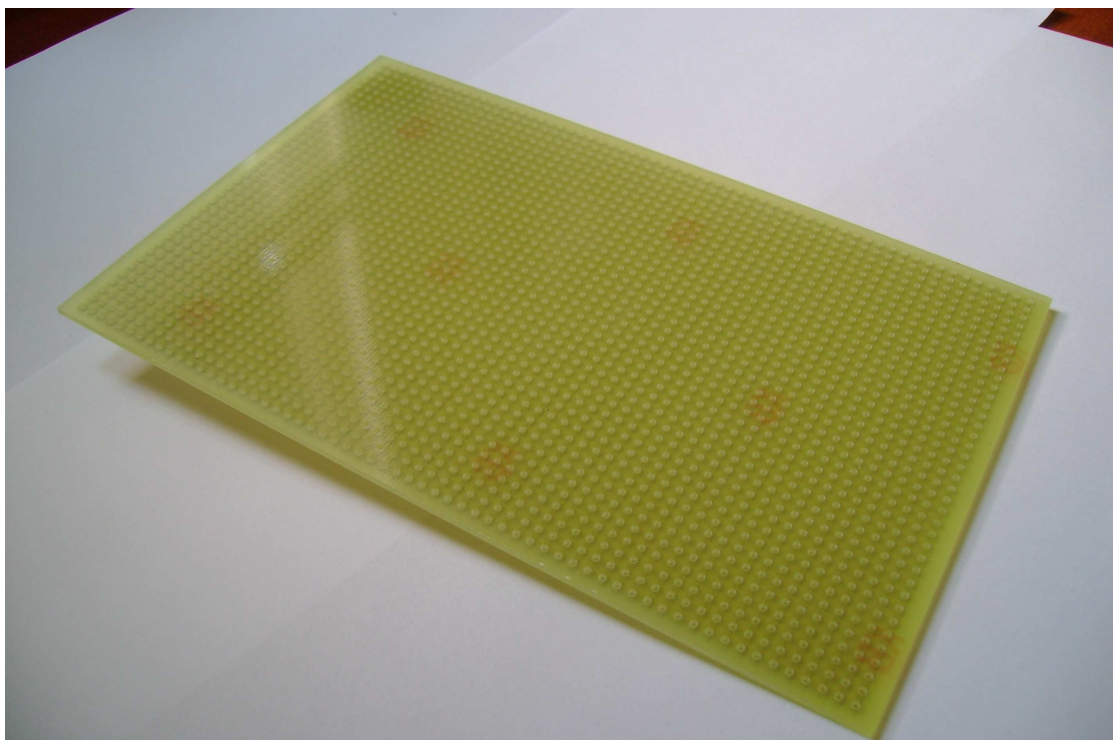
Διάγραμμα 4.8

Ακροδέκτες "Α" και "Β" συγκολλημένοι πάνω στην ραφή



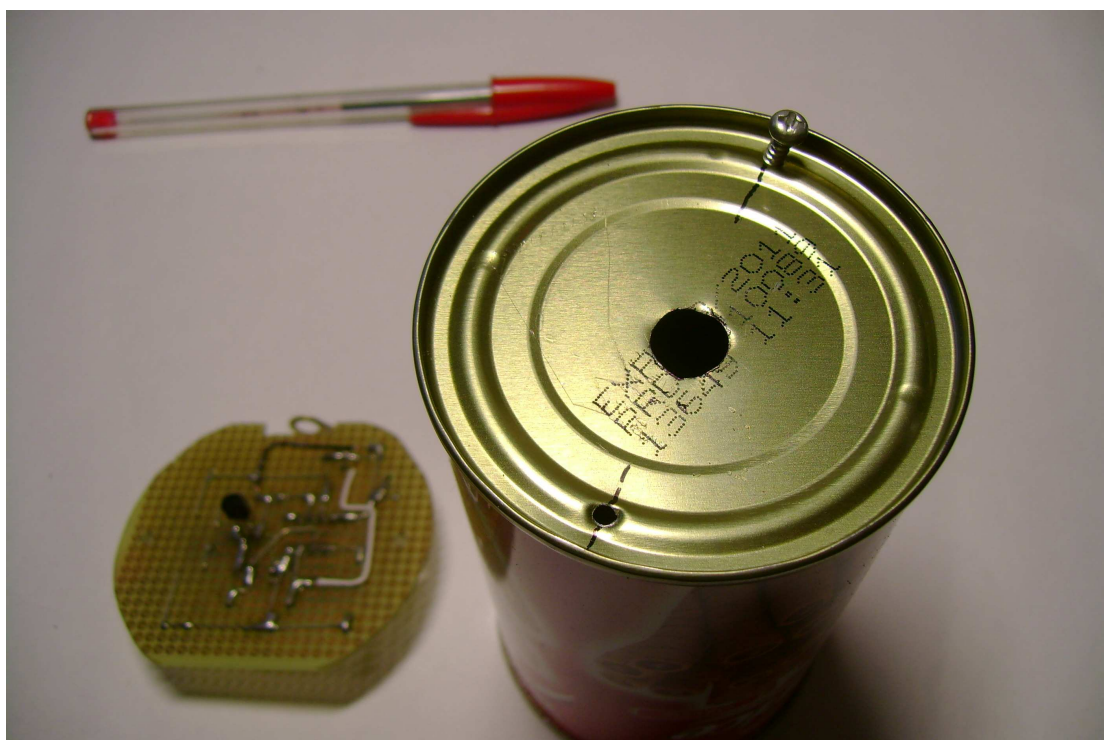
Διάγραμμα 4.9

Πυκνωτής υψηλής τάσης συνδεδεμένος στον ακροδέκτη "B"



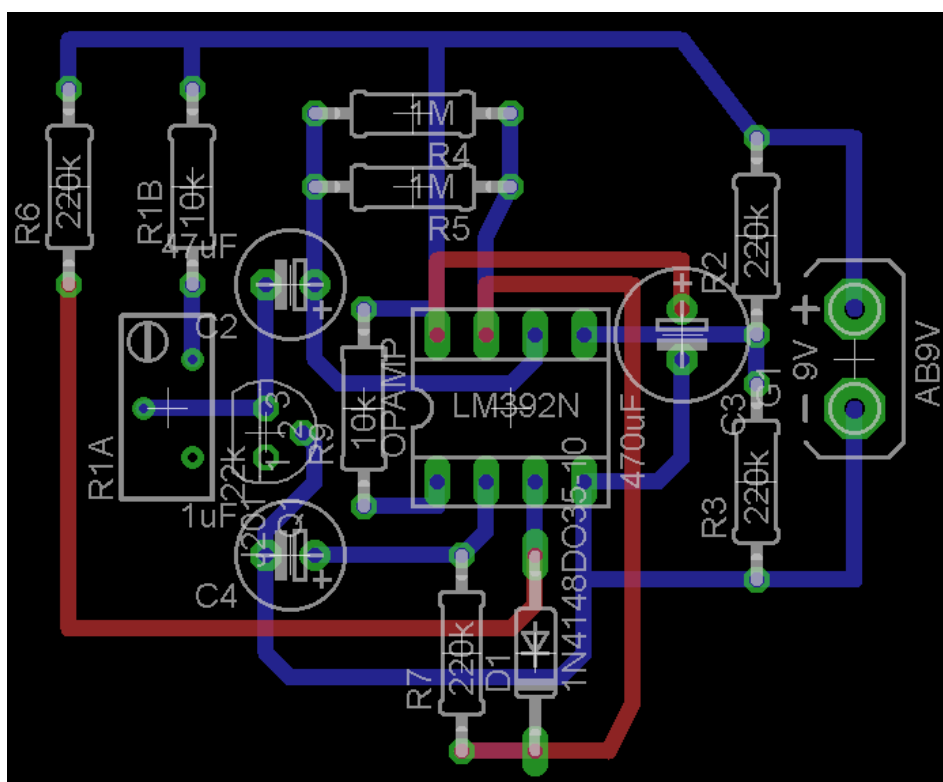
Διάγραμμα 4.10

Πλακέτα γενικών κατασκευών



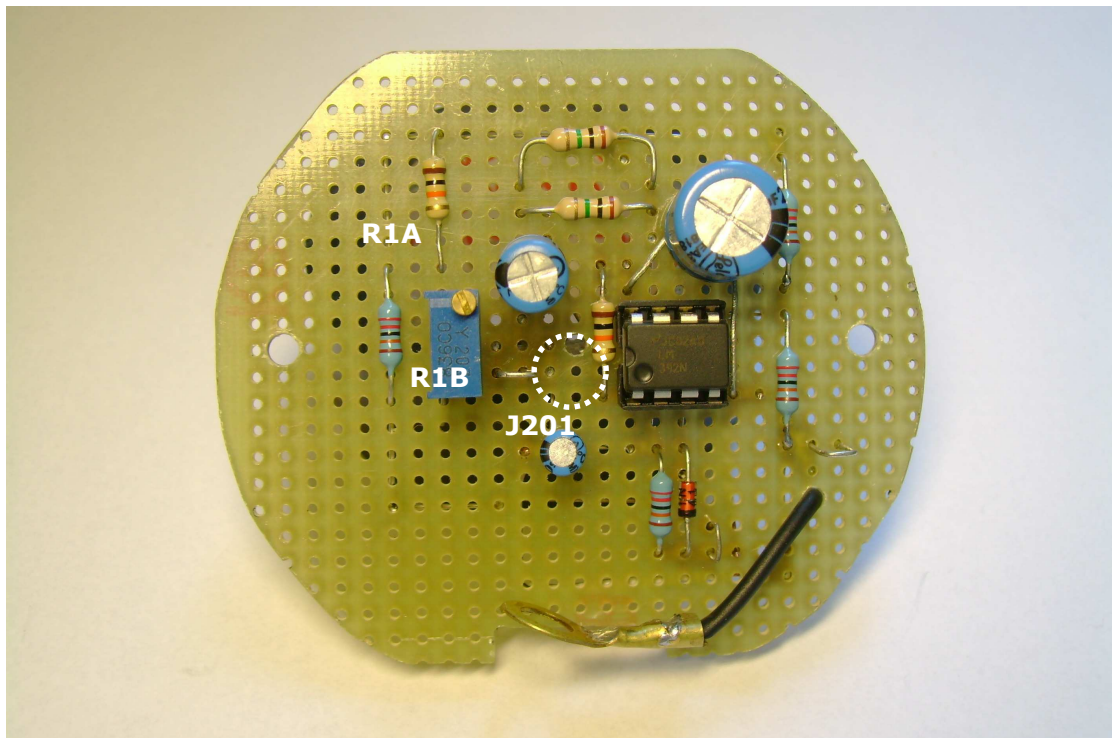
Διάγραμμα 4.11

Οπές και βίδες συγκράτησης για την πλακέτα του ηλεκτρονικού κυκλώματος



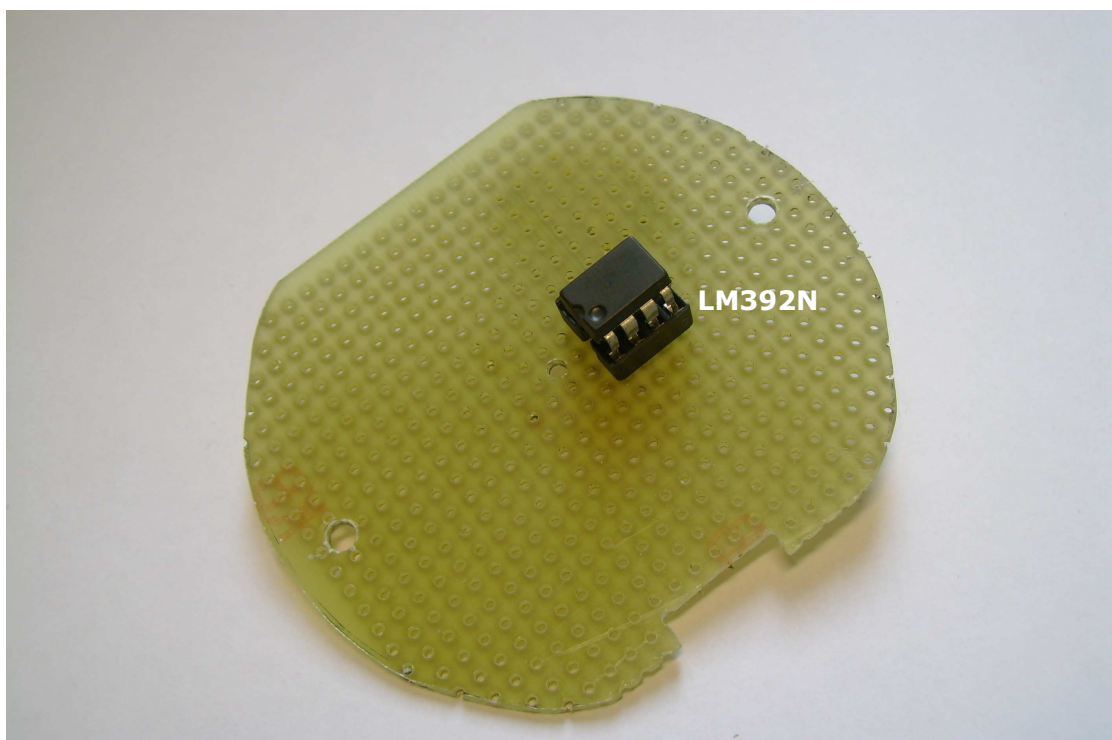
Διάγραμμα 4.12

Ενδεικτικό τοπογραφικό κυκλώματος



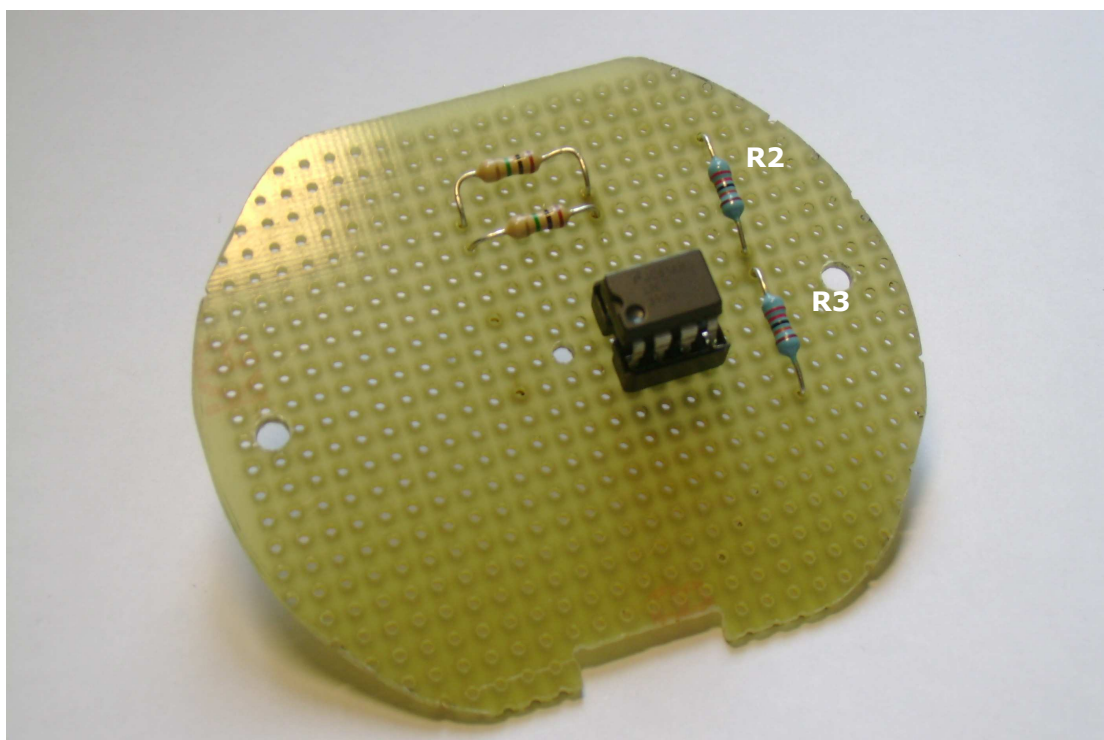
Διάγραμμα 4.13

Δίκτυο ρυθμιστικής αντίστασης R1A και R1B



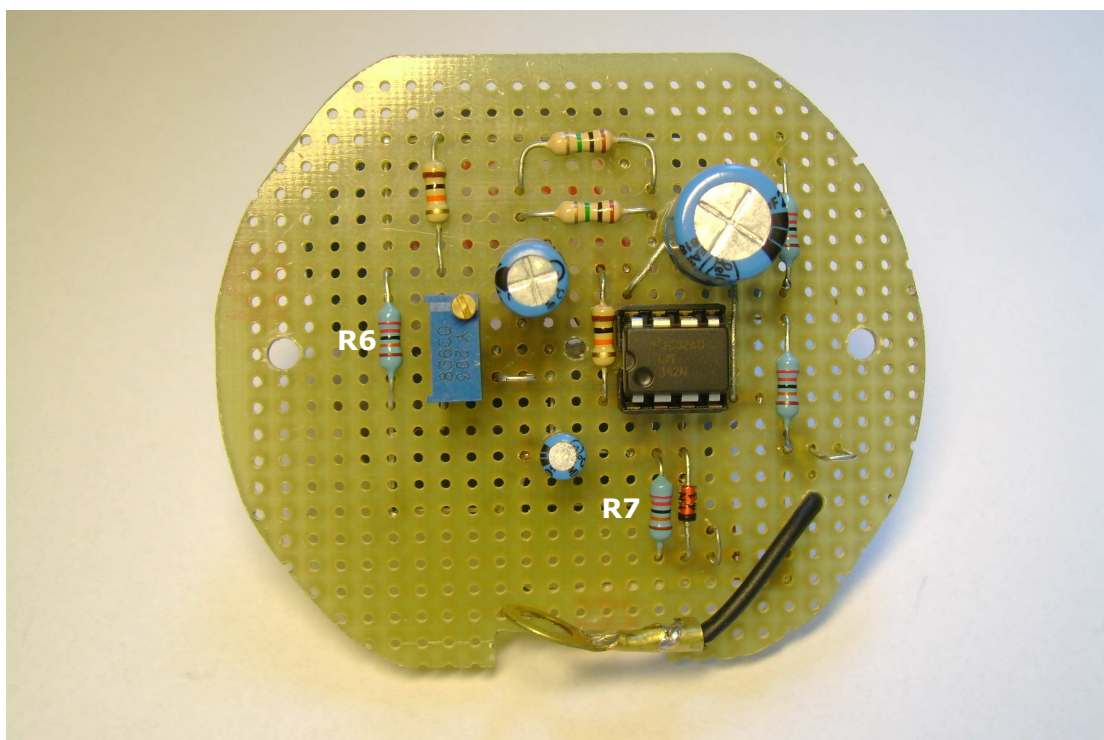
Διάγραμμα 4.14

LM392N πάνω στην πλακέτα



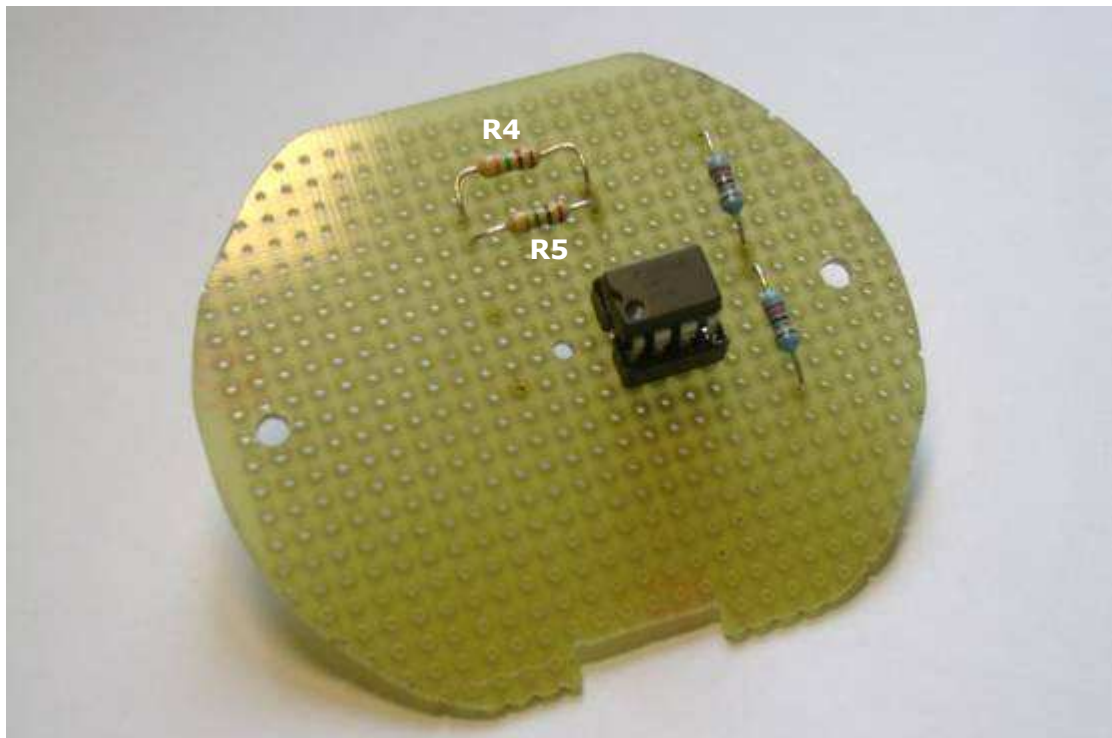
Διάγραμμα 4.15

Διαιρέτης τάσης R2 και R3



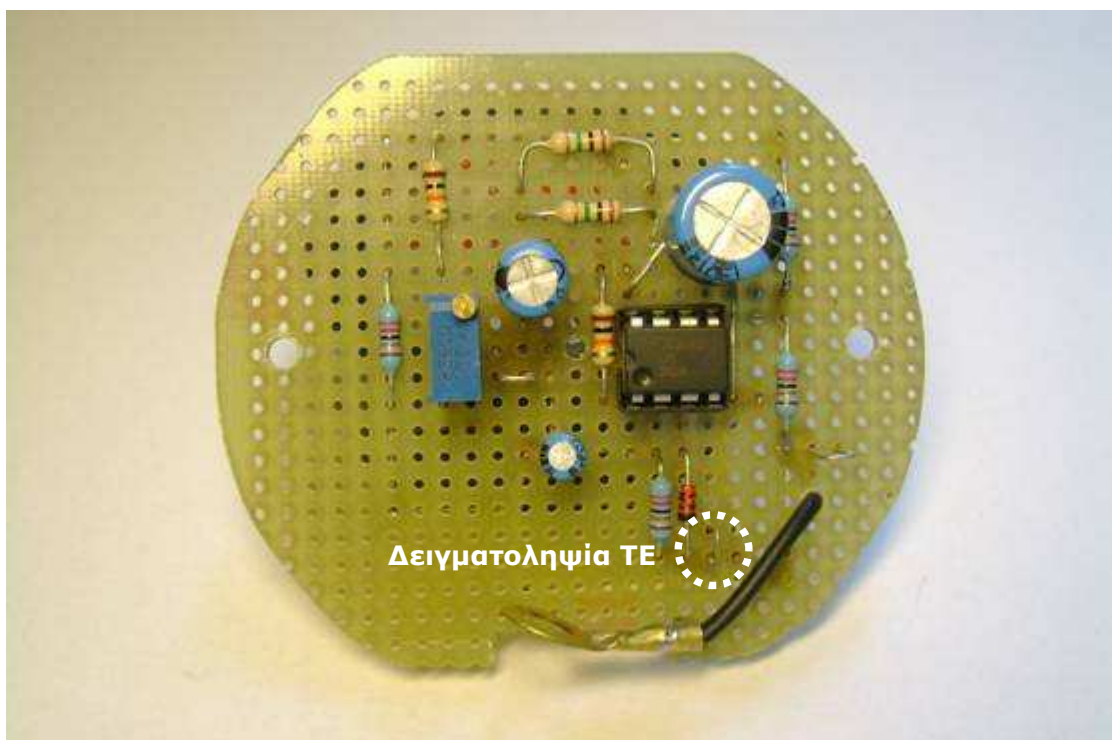
Διάγραμμα 4.16

Δίκτυο αντιστάσεων R6 και R7



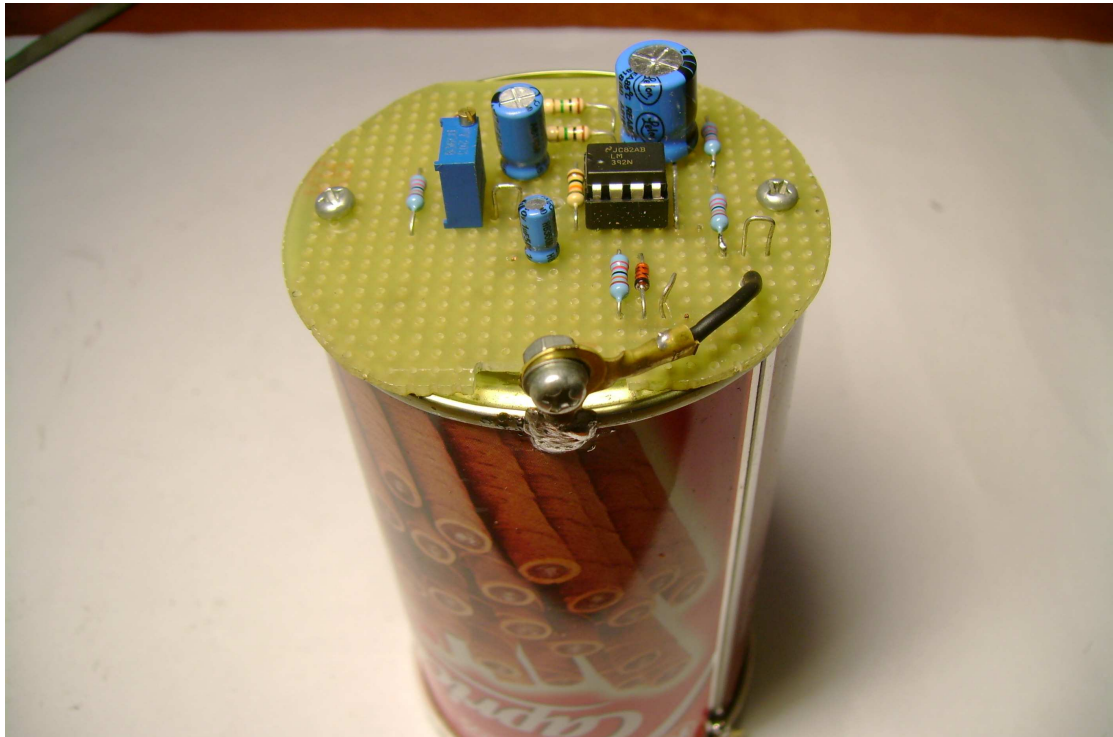
Διάγραμμα 4.17

Δίκτυο αντιστάσεων αρνητικής ανάδρασης R4 και R5



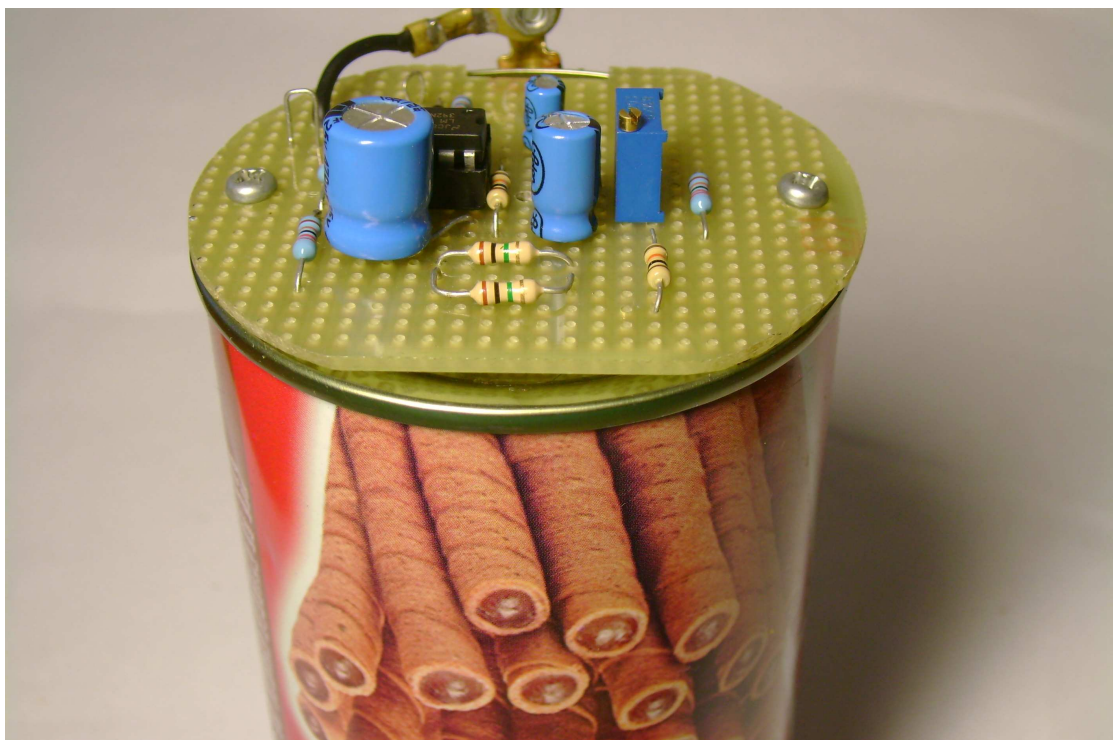
Διάγραμμα 4.18

Ακροδέκτης δειγματοληψίας σήματος Τελεστικού Ενισχυτή (σε κύκλο)



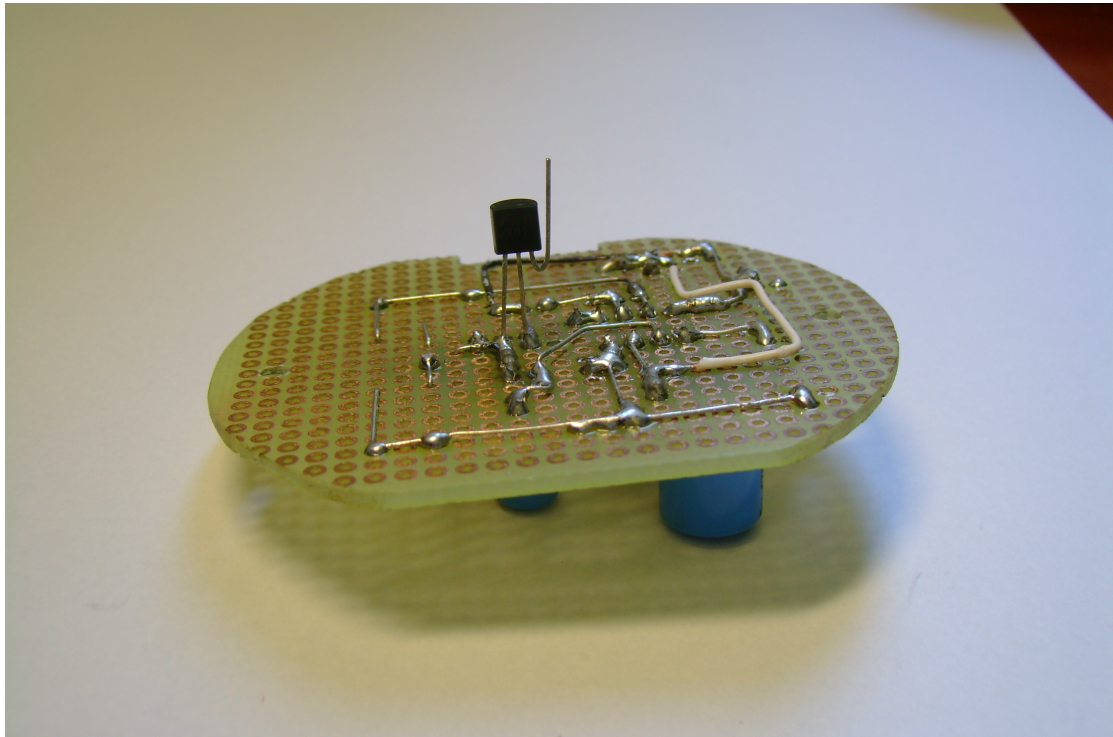
Διάγραμμα 4.19

Ακροδέκτης γείωσης κυκλώματος συνδεδεμένος στον ακροδέκτη "Α"



Διάγραμμα 4.20

Χείλος συσκευασίας εξωτερικού κυλίνδρου



Διάγραμμα 4.21

Ακροδέκτης Gate (G) του JFET σε κάμψη 180°



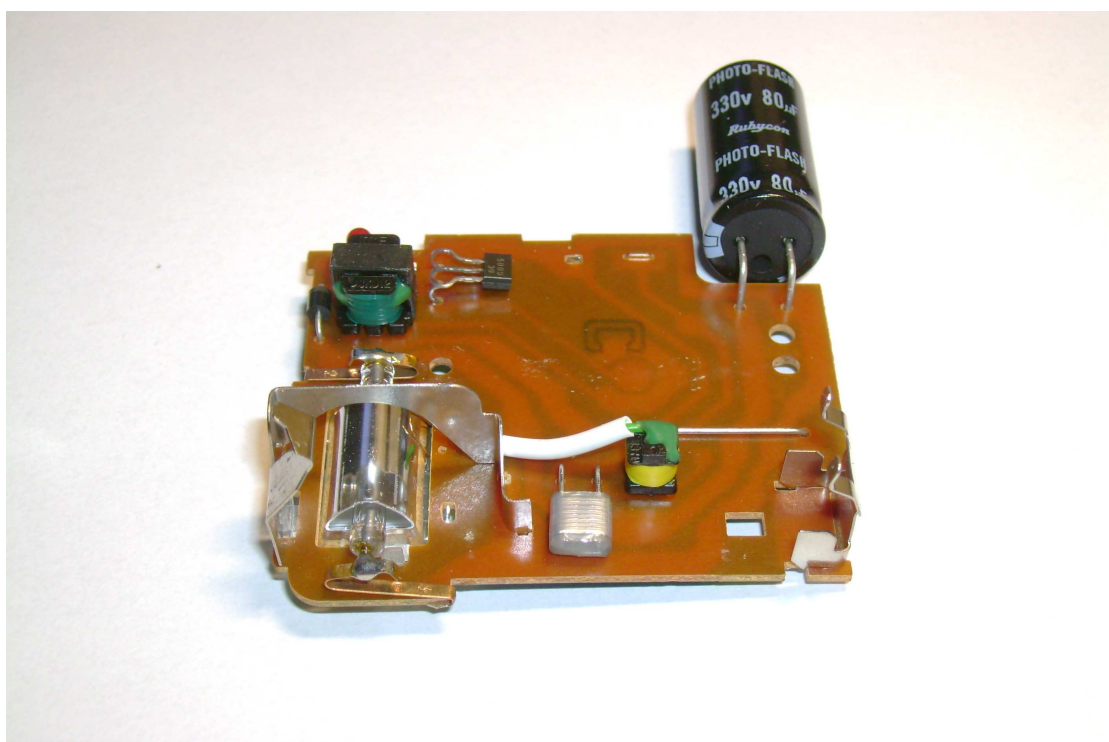
Διάγραμμα 4.22

Λευκό πλαστικό πώμα



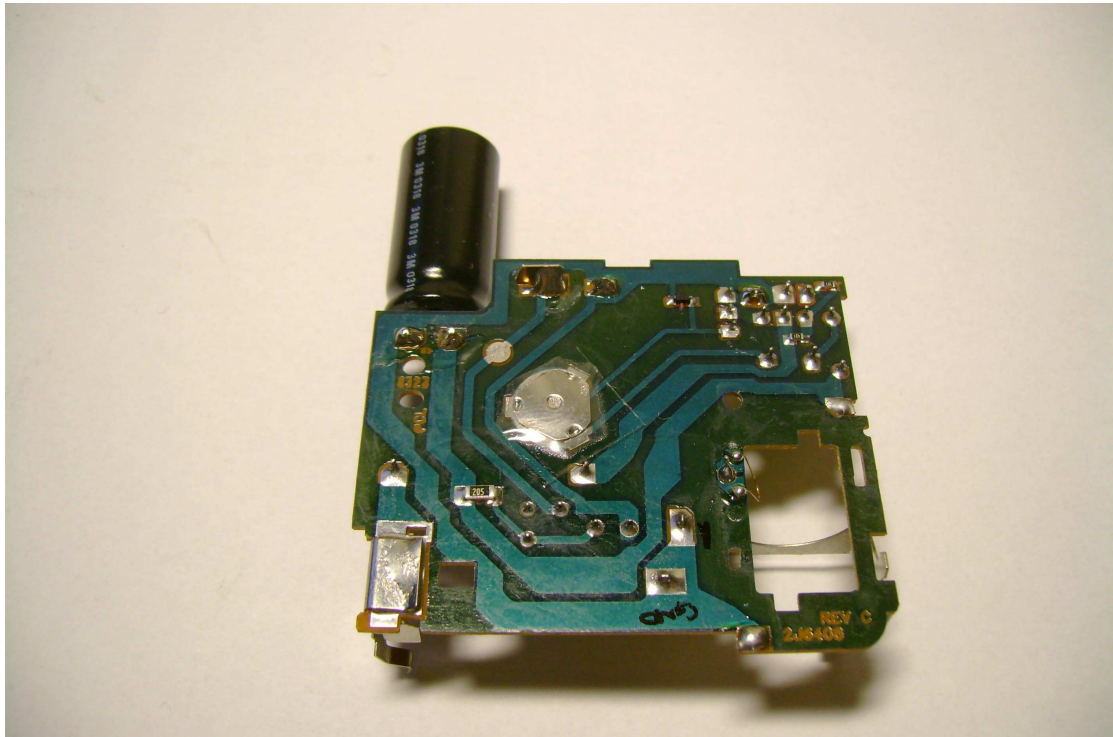
Διάγραμμα 4.23

Φωτογραφική μηχανή μιας χρήσης "KODAK FUNSAVER"



Διάγραμμα 4.24

Πυκνωτής φόρτισης φλας (δεξιά επάνω)



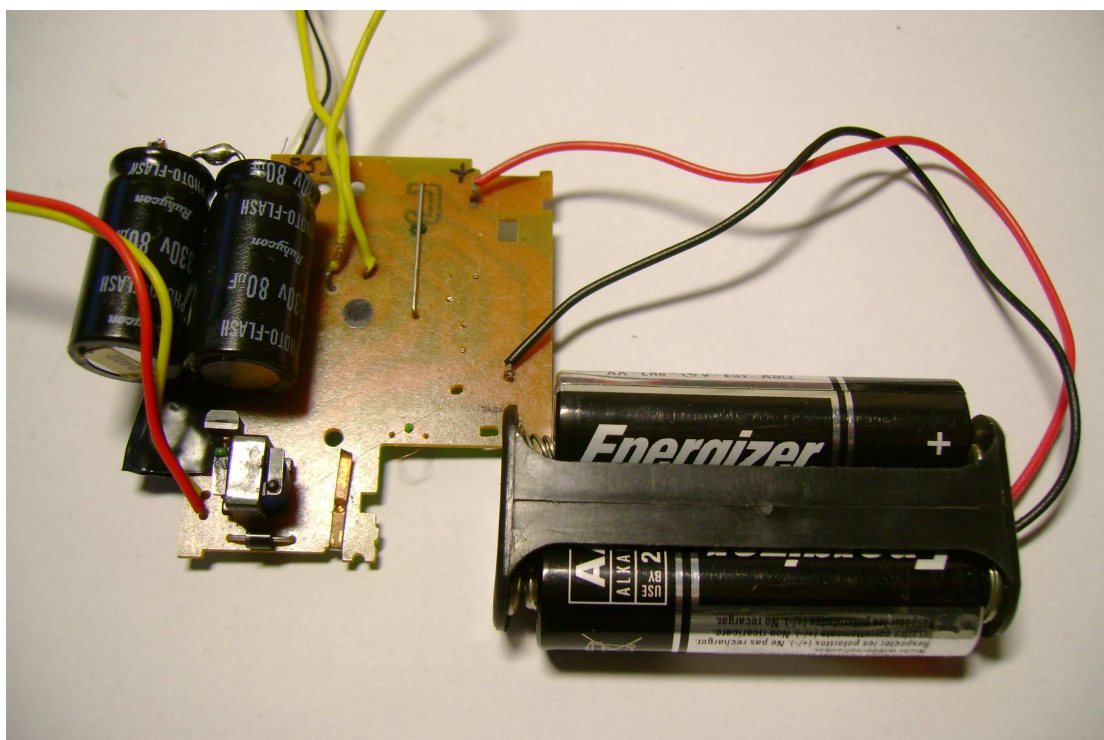
Διάγραμμα 4.25

Διακόπτης επαφής ενεργοποίησης φλας (κέντρο)



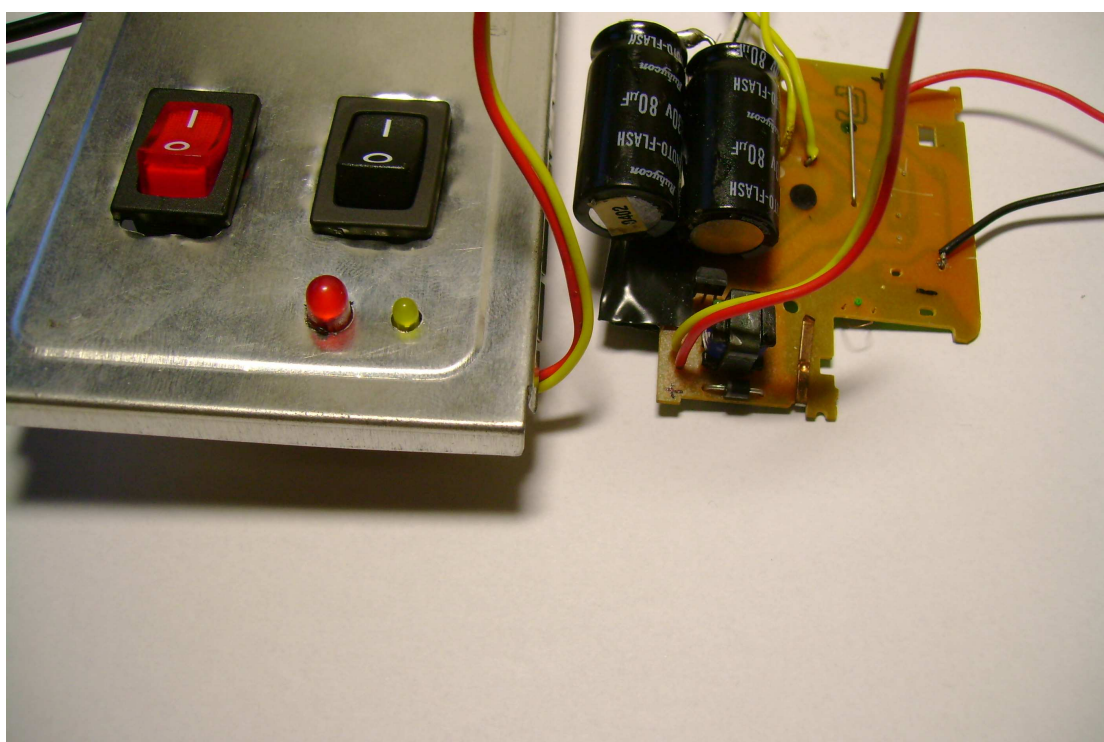
Διάγραμμα 4.26

Αγωγοί φόρτισης υψηλής τάσης



Διάγραμμα 4.27

Μπαταρίες AA στους ακροδέκτες τροφοδοσίας της πλακέτας τροφοδοτικού



Διάγραμμα 4.28

Ενδείξεις LED για την πορεία της φόρτισης



Διάγραμμα 4.29

Συσκευασίες συμπυκνωμένου γάλακτος ως κλωβός θωράκισης



Διάγραμμα 4.30

Χείλος συσκευασίας του κλωβού θωράκισης



Διάγραμμα 4.31

Πάνω βάση εξωτερικού κλωβού



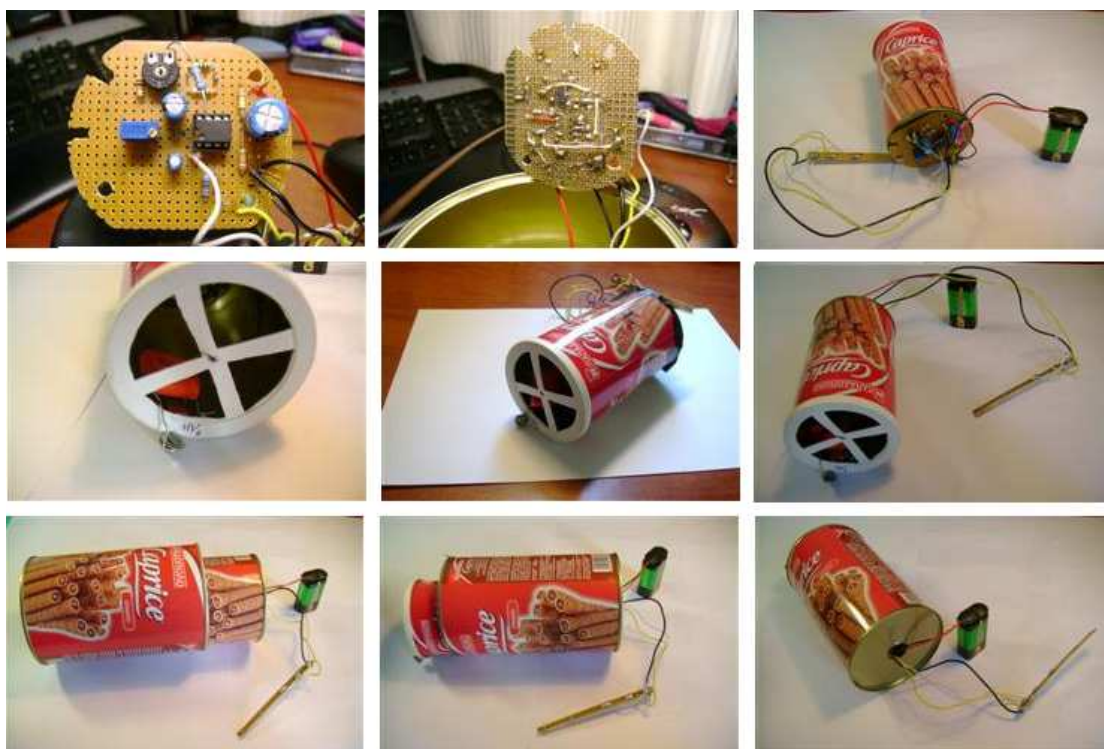
Διάγραμμα 4.32

Ακροδέκτης σύνδεσης γείωσης



Διάγραμμα 4.33

**Οπή καλωδίων κλωβού θωράκισης
(πριν τοποθετηθεί ο ακροδέκτης γείωσης)**



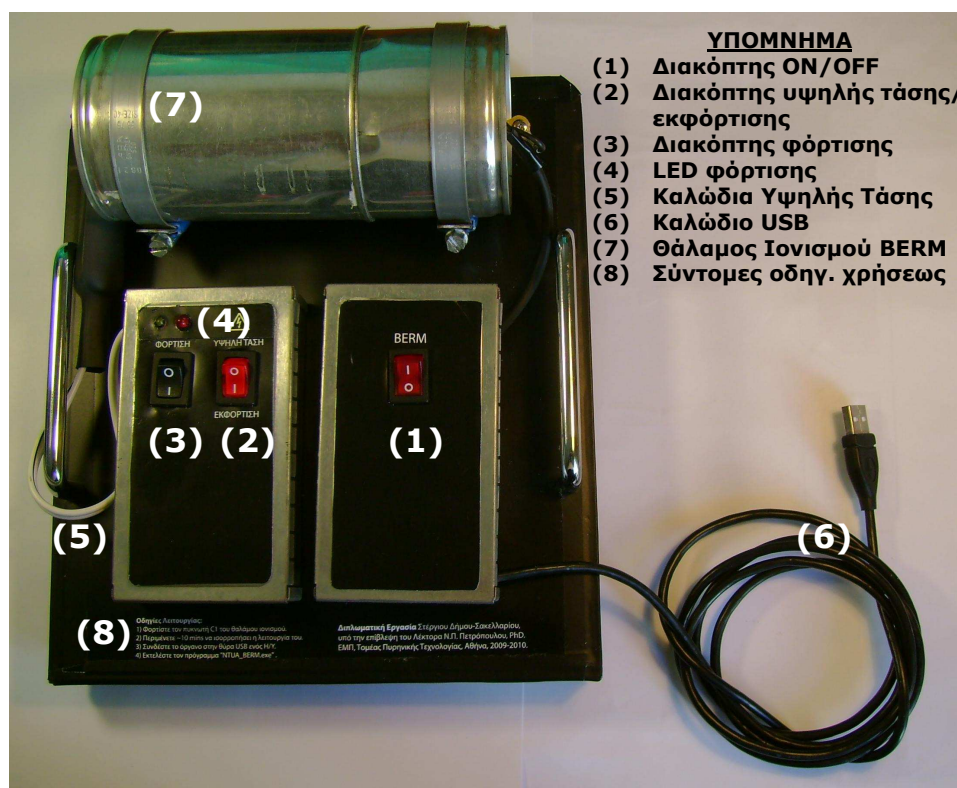
Διάγραμμα 4.34

Φωτογραφίες Δοκιμαστικού Πρωτοτύπου



Διάγραμμα 4.35

Φωτογραφίες Οριστικού Πρωτοτύπου



Διάγραμμα 4.36

Επεξήγηση Οριστικού Πρωτοτύπου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΙΟΝΙΣΜΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίον καταμετρώνται και καταγράφονται οι παλμοί που προέρχονται από ιονισμούς εξαιτίας της αλληλεπίδρασης –α σωματιδίων τα οποία προέρχονται από τις διασπάσεις Ραδονίου και των θυγατρικών του, στον θάλαμο ιονισμού του ανιχνευτικού συστήματος BERM. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται σε βασικά βιβλία πυρηνικών μετρητικών συστημάτων αλλά και στον Αλεξόπουλο (2008) οι βασικές μονάδες ενός πυρηνικού μετρητικού συστήματος είναι (α) ο ανιχνευτής, (β) το τροφοδοτικό υψηλής τάσης, (γ) ο προενισχυτής, (δ) ο ενισχυτής, (ε) ο διαχωριστής και τέλος (στ) ο καταμετρητής. Δεδομένου ότι οι συνιστώσες (α) έως και (ε) και ο τρόπος που αυτές λειτουργούν σχετικά με τον ανιχνευτή BERM έχουν ήδη περιγραφεί αναλυτικά στα Κεφάλαια 2^ο έως και 4^ο, στο παρόν Κεφάλαιο εξετάζεται με λεπτομέρεια ο τρόπος που επιλέχθηκε για την καταμέτρηση, παρουσιάζεται η συγκρότησή του από την άποψη του υλικού και του λογισμικού.

5.2 Επιλογή τεχνικής καταμέτρησης

Στα συμβατικά πυρηνικά μετρητικά συστήματα ένας καταμετρητής απαριθμεί σε ψηφιακή οθόνη LED, το πλήθος των παλμών που του αποστέλει ο διαχωριστής. Οι καταμετρητές διαθέτουν συνήθως και χρονόμετρα ώστε να υπολογίζεται ο αριθμός των παλμών στην μονάδα του χρόνου. Γενικά, οι καταμετρητές μπορεί να είναι μίας οθόνης (μόνο καταμετρητής ή counter) ή δύο οθονών (καταμετρητής και χρονόμετρο ή dual counter/timer). Στους πιο σύγχρονους καταμετρητές παρέχεται η δυνατότητα επικοινωνίας (συνήθως σειριακής) με καταγραφική συσκευή ηχ εκτυπωτή ή γενικότερα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι ο καταμετρητής του ανιχνευτικού συστήματος BERM θα πρέπει να παρουσιάζει τουλάχιστον τα χαρακτηριστικά ενός συμβατικού καταμετρητή και χρονόμετρου πυρηνικού μετρητικού συστήματος. Ως εναλλακτικές τεχνικές επιλογές για τον καταμετρητή αξιολογήθηκαν οι παρακάτω:

- i. Στην πρωτότυπη κατασκευή του ο Neher (1994b) προτείνει ως καταμετρητικό σύστημα ένα αναλογικό ρυθμόμετρο κατάλληλο για ολοκληρωτικές μετρήσεις (κατά μέσο όρο ρυθμός παλμών). Στο σχήμα του Διαγράμματος 5.1 παρουσιάζεται το σχέδιο του σχετικού ηλεκτρονικού κυκλώματος. Ως τελική μετρητική συσκευή χρησιμοποιείται το μικροαμπερόμετρο M1. Ο Neher (1994b) περιγράφει αναλυτικά τη θεωρία του

κυκλώματος του Διαγράμματος 5.1 και εξηγεί την επιλογή των υλικών σύμφωνα και με τον Πίνακα 5.1. Παρόλα αυτά, μια καταρχήν αξιολόγηση του κυκλώματος αυτού σύμφωνα και με τα υπάρχοντα σήμερα (2009) ηλεκτρονικά στοιχεία στην αγορά οδηγεί στα εξής:

- (1) αναλογικά μικροαμπερόμετρα δεν διατίθενται σήμερα (2010) γενικά στις αναγκαίες προτεινόμενες κλίμακες των 20-50 μA .
 - (2) λόγω αναλογικής συμπεριφοράς το μικροαμπερόμετρο χρειάζεται συχνή "ρύθμιση του μηδενός",
 - (3) το προτεινόμενο μετρητικό κύκλωμα καταναλώνει ενέργεια, πράγμα που συνεπάγεται την γρηγορότερη εξάντληση της πηγής τροφοδοσίας (μπαταρία 9V) του ανιχνευτικού κυκλώματος BERM
 - (4) το προτεινόμενο μετρητικό κύκλωμα ως ολοκληρωτικό μετρητικό σύστημα μέσου όρου, δεν είναι κατάλληλο για στιγμιαίες ή μικρής χρονικής διάρκειας μετρήσεις,
 - (5) απαιτείται βαθμονόμηση του κυκλώματος με βάση πηγή παλμών σύμφωνα και με το ηλεκτρονικό κύκλωμα του Διαγράμματος 5.2,
 - (6) ο χρόνος απόκρισης φαίνεται ότι είναι μεγάλος πράγμα που πολλές φορές αναγκάζει να χρησιμοποιηθεί διακόπτης επανάταξης (reset) του κυκλώματος καταμέτρησης (S1 στο Διάγραμμα 5.1), ώστε αυτό να αποδίδει όσο το δυνατόν κοντύτερα τον πραγματικό ρυθμό των παλμών, και
 - (7) η σύνδεση του κυκλώματος αυτού με ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να γίνεται καταγραφή των ενδείξεών του δεν είναι προφανής.
- ii. Ο Neher (1994b) προτείνει εναλλακτικά ένα κύκλωμα ψηφιακού βολτομέτρου σύμφωνα και με το σχέδιο του Διαγράμματος 5.3. Το κύκλωμα αυτό είναι σαφώς πιο απλό από εκείνο του Διαγράμματος 5.1, αλλά παρουσιάζει βεβαίως τα μειονεκτήματα (3), (4), (5), (6) και (7).
- iii. Μία μέθοδος, η οποία γενικά απαλλάσσει από την κατασκευή κυκλωμάτων όπως αυτά των Διαγραμμάτων 5.1, 5.2 και 5.3 είναι η απευθείας σύνδεση του ανιχνευτικού συστήματος BERM, δηλαδή της εξόδου του Συγκριτή, με προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή (PC). Η μέθοδος αυτή δεν παρουσιάζει τα μειονεκτήματα (1) έως και (7). Ο Neher (1994b) επεξεργάζεται σε περιορισμένο βαθμό και αυτήν την ιδέα, η οποία επιπλέον παρουσιάζει τα εξής κύρια πλεονεκτήματα: (α) δυνατότητα στιγμιαίας ή περιορισμένης χρονικής

διάρκειας μέτρησης αριθμού παλμών, (β) εύκολο υπολογισμό μέσων όρων, (γ) εύκολη γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων και (δ) τήρηση αρχείου. Για το σκοπό αυτό χρειάζεται καταρχήν να χρησιμοποιηθεί κάποιο από τα διαθέσιμα interrupts (πχ. σειριακής θύρας, παράλληλης, πληκτρολόγιο κλπ) με πιο κατάλληλο αυτό της σειριακής θύρας. Ο αναμενόμενος ρυθμός παλμών από τον ανιχνευτή BERM σε περιβάλλοντα με φυσικές συγκεντρώσεις Ραδονίου αναμένεται να είναι της τάξης των 10 ανά λεπτό, ως εκ τούτου η ταχύτητα συλλογής και επεξεργασίας πειραματικών δεδομένων δεν είναι πρόβλημα. Η απευθείας σύνδεση της εξόδου του Συγκριτή στον κατάλληλο ακροδέκτη της σειριακής θύρας θα μπορούσε να γίνει με ένα παθητικό κύκλωμα το οποίο θα αξιοποιεί κυκλώματα RS flip-flops με ενεργοποίηση για "ενεργά-χαμηλά" ("Active-Low") εξόδου ανοικτού συλλέκτη, όπως αυτά του Διαγράμματος 5.4. Σε αυτήν την περίπτωση, το κύκλωμα RS θα πρέπει επαναφέρεται (RS) από την ρουτίνα interrupt και η γείωση του ανιχνευτικού κυκλώματος θα πρέπει να ταυτίζεται με την γείωση του προσωπικού υπολογιστή. Η εκμετάλλευση της τεχνικής απευθείας σύνδεσης χωρίς άλλο παρεμβαλλόμενο ενεργητικό κύκλωμα για την δημιουργία του σήματος interrupt παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δεν εισάγει επιπλέον ηλεκτρονικό θόρυβο. Παρόλα αυτά, ο Neher (1994b) δεν προχώρησε στην εκμετάλλευση της τεχνικής αυτής, η οποία πρέπει γενικά να δοκιμαστεί και οι δοκιμές παρουσιάζουν τον κίνδυνο καταστροφής των σειριακών κυκλωμάτων του υπολογιστή ή και της ίδιας της μητρικής του κάρτας, δεδομένου ότι δεν προτείνεται κανένα ενδιάμεσο κύκλωμα προστασίας. Υπενθυμίζεται ότι στο εσωτερικό του θαλάμου ιονισμού του ανιχνευτή επικρατεί ηλεκτρικό πεδίο δυναμικού 500 V

- iv. Σε συνέχεια της βασικής ιδέας της μεθόδου (iii), θα μπορούσε να γίνει κάποια ιδιοκατασκευή βασιζόμενη στα εξής κύρια σημεία: μετατροπή -αν χρειάζεται- των παλμών που εξέρχονται από την έξοδο του Συγκριτή σε παλμούς TTL (βλ. και Αλεξόπουλος, 2008) μέσω απλών εμπορικά διαθέσιμων κυκλωμάτων, οδήγηση των παλμών TTL σε κατάλληλο καταγραφικό, απεικόνιση των τιμών της καταγραφής σε ψηφιακή οθόνη τύπου LED ή LCD, και τέλος προώθηση των καταγραφών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για τήρηση αρχείου και λοιπές επεξεργασίες. Η ιδιοκατασκευή αυτή μπορεί γενικά να βασίζεται σε έτοιμα τμήματα διαθέσιμα στο εμπόριο, παρόλαυτά παρουσιάζει την δυσκολία της αναγκαίας προσαρμογής του ενσωματωμένου λογισμικού στα τμήματα αυτά (firmware) στις ανάγκες καταγραφής ενός πυρηνικού μετρητικού συστήματος. Αν το firmware είναι "φτωχό" ή πολύ "βασικό", πιθανόν η λειτουργία αυτής της σύνθεσης να χρειάζεται έλεγχο από προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή και λογισμικό από την πλευρά του ηλεκτρονικού υπολογιστή που

χρειάζεται να γραφτεί εξαρχής, πράγμα που οδηγεί σε κόστος κεφαλαίου και χρόνου.

- ν. Πάνω στην ίδια βασική ιδέα (iii) υπάρχει και η εναλλακτική της χρησιμοποιήσεως έτοιμου λογισμικού για την απευθείας εκμετάλλευση των σημάτων από τον Συγκριτή του ανιχνευτικού κυκλώματος BERM στην λογική της παραλαβής του interrupt, αλλά με κατάλληλη χρήση απλού ενδιάμεσου κυκλώματος. Ως τέτοιο λογισμικό μπορούν να θεωρηθούν οι γνωστές πλατφόρμες (platforms): MATLAB/Simulink, Daisy Lab και LabVIEW, καθώς επίσης και η πλατφόρμα ελεύθερου λογισμικού Scilab/Scicos. Δεδομένου ότι οι πλατφόρμες αυτές είναι –μεταξύ άλλων- κατασκευασμένες και σχεδιασμένες για την συλλογή πειραματικών δεδομένων από ηλεκτρονικό υπολογιστή, ως συσκευή παραλαβής του interrupt μπορούν να χρησιμοποιήσουν πρακτικά οποιαδήποτε είσοδο του Η/Υ με πλέον πρόσφορη την σειριακή θύρα ή εξίσου την αναλογική είσοδο της κάρτας ήχου, ή σε εξελεγμένα κυκλώματα κατάλληλες κάρτες αναλογοψηφιακής μετατροπής. Σημειώνεται ότι αν η συσκευή αυτή είναι η κάρτα ήχου, τότε αυτή προσφέρεται ως πολύ κατάλληλο κύκλωμα μέσω του οποίου μπορεί να παραλαμβάνεται το σήμα από τον ανιχνευτή χωρίς μεγάλο κίνδυνο ζημίας του Η/Υ.

Με βάση την πιο πάνω παρουσίαση και αξιολογώντας τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων (i) έως και (ν) προκειμένου για την επιλογή του καλύτερου τρόπου καταμέτρησης, κρίνεται ότι η μέθοδος (ν) συγκεντρώνει σημαντικά πλεονεκτήματα καθόσον επιτρέπει την εύκολη και ασφαλή δοκιμή παραλαβής του σήματος από τον ανιχνευτή BERM, και δεν παρουσιάζει τα μειονεκτήματα (1) έως (7) των μεθόδων (i) και (ii). Οποσδήποτε όμως, στην περίπτωση αυτής της λύσης υπάρχει κόστος χρόνου ανάπτυξης του λογισμικού μέρους. Ως προς την κατάλληλη πλατφόρμα λογισμικού επιλέχθηκε το παραθυρικό πακέτο λογισμικού της National Instruments, NI LabVIEW 2009 Full (Service Pack 1)¹. Επιπλέον λόγοι για την επιλογή αυτή ήταν:

- η συμβατότητα με το λογισμικό Multisim, ως προϊόντα της ίδιας εταιρείας (National Instruments, βλ. και το 3^ο Κεφάλαιο)
- η ανάγκη για κατ'αρχήν διερεύνηση του τρόπου χρήσης του LabVIEW, ως λογισμικού ευρείας εφαρμογής σε συλλογή πειραματικών δεδομένων, και στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας (βλ. και Νικόγλου, 2010)
- το πολύ υψηλού επιπέδου γραφικό περιβάλλον προγραμματισμού

¹ Άδεια ακαδημαϊκής χρήσης, η οποία αγοράσθηκε από τον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας το Οικονομικό Έτος 2010.

και τέλος

- η εμπειρία παραδειγμάτων χρήσης του LabVIEW, που υπάρχει σήμερα δημοσιευμένη σε βιβλία, επιστημονικά άρθρα και στο διαδίκτυο.

5.3 Σύνδεση κάρτας ήχου στον Συγκριτή

Για την καταγραφή των παλμών στην έξοδο του Συγκριτή και την τήρηση αρχείου σε H/Y με τα δεδομένα αυτά, σύμφωνα με τα όσα αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, χρησιμοποιήθηκε η είσοδος μικροφώνου (MIC-IN) μιας κάρτας ήχου. Οι κάρτες ήχου είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να διαχειρίζονται εναλλασσόμενη τάση μικρού πλάτους. Για παράδειγμα, η ταλάντωση μιας μεμβράνης μικροφώνου (όπως και κάθε ηχητικού μέσου), παράγει ένα σήμα εναλλασσόμενης τάσης στην έξοδο του μικροφώνου, το οποίο παραλαμβάνεται από την είσοδο MIC-IN της κάρτας ήχου, ενισχύεται και μετατρέπεται σε ψηφιακή πληροφορία. Τυχόν ύπαρξη συνεχούς συνιστώσας στην τάση που λαμβάνεται από την είσοδο μικροφώνου, θα προκαλούσε παραμόρφωση στον ήχο που ψηφιοποιείται, οπότε πρέπει να αποκόπτεται. Αυτό στις κάρτες ήχου γίνεται μέσω ενός πυκνωτή "σύζευξης εναλλασσόμενου ρεύματος" ("AC coupling capacitor") ή αλλιώς "πυκνωτή απομόνωσης συνεχούς ρεύματος" ("DC blocking capacitor"). Στην περίπτωση του ηλεκτρονικού κυκλώματος του θαλάμου ιονισμού BERM, ο παλμός που παράγεται από την έξοδο του Συγκριτή είναι ένας αρνητικός τετραγωνικός παλμός συνεχούς τάσης, κατάλληλος για απευθείας αξιοποίηση από συστήματα TTL (Transistor to Transistor Logic), αλλά ακατάλληλος για απευθείας ανίχνευση από συστήματα ψηφιοποίησης εναλλασσόμενης τάσης όπως οι κάρτες ήχου. Με την ύπαρξη του "πυκνωτή σύζευξης εναλλασσόμενου ρεύματος" στο κύκλωμα της κάρτας ήχου αφαιρείται η "συνιστώσα συνεχούς ρεύματος" από το σήμα του Συγκριτή και επιτρέπεται η ανίχνευση μόνο των μεταβολών της τάσης μετασχηματίζοντας τον αρνητικό τετραγωνικό παλμό, σε δύο κορυφές, μια αρνητική κορυφή και μία θετική, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την μετάβαση από υψηλή τάση σε χαμηλή και το αντίστροφο, όπως φαίνεται και στην εικόνα του Διαγράμματος 5.5. Η μελέτη του μετασχηματισμένου σήματος από λογισμικό H/Y μπορεί να οδηγήσει στον εντοπισμό και την καταγραφή των ιονισμών.

Το δεξί κουτί της υλοποίησης του Οριστικού Πρωτοτύπου του BERM (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 5.6) περιέχει την μπαταρία των 9V, που τροφοδοτεί το ηλεκτρονικό κύκλωμα του θαλάμου ιονισμού αλλά και τον διακόπτη που συνδέει και αποσυνδέει αυτήν την μπαταρία δηλαδή τον διακόπτη "BERM". Επίσης, στο κουτί αυτό τοποθετήθηκε μία εξωτερική USB κάρτα ήχου τύπου Konig CMP-SOUND USB 12H (άμεσα διαθέσιμη στην Ελληνική Αγορά από την ΠΛΑΙΣΙΟ Computers AEBE), η οποία σύμφωνα με τα προηγούμενα χρησιμοποιήθηκε για την

καταγραφή των παλμών που προέρχονται από ιονισμούς στον θάλαμο ιονισμού. Η κάρτα ήχου τοποθετήθηκε πολύ κοντά στον θάλαμο ιονισμού, μέσα στο δεξί κουτί διότι το σήμα που μεταφέρεται από την έξοδο του Συγκριτή έως την είσοδο της κάρτας ήχου είναι ευαίσθητο στον θόρυβο, γι'αυτό το λόγο το μήκος του αντίστοιχου καλωδίου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Αυτή η κάρτα ήχου χρησιμοποιεί προφανώς σύνδεση USB με τον Η/Υ. Το σήμα που μπορεί να δεχθεί στην είσοδο μικροφώνου (MIC-IN) μία κάρτα ήχου είναι γενικά από $\pm 0.7V$ έως και $\pm 1.7V$, εξαρτώμενο από τις κατασκευαστικές προδιαγραφές του κάθε κατασκευαστή. Για λόγους ασφαλείας, αλλά και για να εξασφαλιστεί η συγκεκριμένη κάρτα ήχου από το χειρότερο σενάριο υπέρβασης τάσης, χρησιμοποιήθηκε μια διάταξη υποβιβασμού της τάσης του σήματος των 4.5V από τον Συγκριτή που φτάνει στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας. Η διάταξη υποβιβασμού σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μετατρέπει σήματα $\pm 9V$ σε $\pm 0.7V$ εξασφαλίζοντας έτσι την "επιβίωση" της κάρτας, ακόμα και από βραχυκύκλωμα του στο ηλεκτρονικό κύκλωμα που είναι δυνατόν να οδηγήσει στην είσοδο MIC-IN την τάση από την πηγή τροφοδοσίας (μπαταρία 9V). Ο υποβιβασμός της τάσης εκτελείται από έναν διαιρέτη τάσης, αποτελούμενο από τις αντιστάσεις R_i (220 k Ω , 1%) και R_{ii} (22 k Ω , 1%) καθώς από το ποτενσιόμετρο ακριβείας R_{iii} , 100 k Ω , προρυθμισμένο στην τιμή των 41.5 k Ω , βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.7. Στην είσοδο του διαιρέτη εισέρχονται το σήμα από τον Συγκριτή και η γείωση του κυκλώματος, ενώ η έξοδός του και η γείωση συνδέονται μέσω ενός βύσματος τύπου στερεοφωνικού mini-jack, στην είσοδο του μικροφώνου της USB κάρτας ήχου. Στην έξοδο ήχου της κάρτας ήχου (SPEAKERS-OUT) συνδέεται ένα μικρό ηχείο για την αναπαραγωγή ηχητικών ειδοποιήσεων. Στην έξοδο USB της κάρτας ήχου συνδέθηκε ένα καλώδιο προέκτασης USB, το οποίο εξέρχεται από οπή του κουτιού και επέτρεψε την σύνδεση της κάρτας με Η/Υ. Αυτό το καλώδιο USB συστήνεται να έχει μήκος έως το πολύ 2 m για να μεταφέρεται ασφαλώς η ψηφιακή πληροφορία.

5.4 Βασικά στοιχεία του LabVIEW

5.4.1 Γενικά

Το παραθυρικό λογισμικό LabVIEW είναι μία πλατφόρμα λογισμικού για λειτουργικό σύστημα MS Windows και LINUX, η οποία παρέχει την δυνατότητα εύκολης διαχείρισης των ψηφιακών εισόδων και εξόδων ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (τύπου PC συμβατού), σε γραφικό περιβάλλον. Ως τέτοιες ψηφιακές εισοδοί/εξοδοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα οι σειριακές θύρες, οι κάρτες ήχου, αναλογοψηφιακοί και ψηφιοαναλογικοί μετατροπείς, πληκτρολόγιο κλπ. Κατά αυτόν τον τρόπο το LabVIEW είναι κατάλληλο για τη διαχείριση

αναλογικών ηλεκτρικών σημάτων, τα οποία μπορούν να προκύψουν ως είσοδος σε αυτές τις συσκευές από την παρακολούθηση διαφόρων πειραματικών φαινομένων, ή ως έξοδος από τις ίδιες συσκευές προκειμένου να δοθούν εντολές σε ηλεκτρομηχανικά συστήματα. Επομένως, το λογισμικό LabVIEW είναι κατάλληλο για την συλλογή και επεξεργασία πειραματικών δεδομένων μέσω καταλλήλων μεταλλακτών που συνδέονται με τις ψηφιακές συσκευές εισόδου που το LabVIEW μπορεί να διαχειριστεί. Στο επίπεδο επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων στην πλατφόρμα LabVIEW παρέχεται η δυνατότητα κατασκευής εικονικών οργάνων μετρήσεων (Virtual Instrument ή σε συντόμευση "VI"), τα οποία μπορούν να παραλαμβάνουν τα ψηφιοποιημένα πειραματικά δεδομένα. Ο χρήστης του προγράμματος, μπορεί να δημιουργήσει σχεδόν οποιοδήποτε όργανο χρειάζεται σε εικονικό επίπεδο, σχεδιάζοντας με το LabVIEW, σύμφωνα με τις ανάγκες του, τόσο τις λειτουργίες του οργάνου (δηλ. το ανάλογο του "κυκλώματος" ενός πραγματικού εργαστηριακού οργάνου), όσο και την διεπαφή παρουσίασης των αποτελεσμάτων του οργάνου (το ανάλογο της "οθόνης" ή της "πρόσοψης" ενός πραγματικού εργαστηριακού οργάνου). Το λογισμικό LabVIEW ανήκει στα περιβάλλοντα προγραμματισμού της λεγόμενης 4^{ης} γενιάς και βασίζεται σε ένα συμβολικό προγραμματιστικό κέλυφος. Έτσι, το LabVIEW στηρίζει την λειτουργία του στην δημιουργία συμβολικών συνδέσεων μεταξύ command block diagrams (σε ελεύθερη μετάφραση *διαγραμμάτων δομών ελέγχου*) για την συλλογή, την καταγραφή και επεξεργασία σημάτων εισόδου και για τη δημιουργία σημάτων εξόδου. Για τη λειτουργία του LabVIEW, πρέπει να διατίθενται τα προγράμματα οδηγών (drivers) των συσκευών ψηφιακής εισόδου/εξόδου.

5.4.2 Εργασία στο LabVIEW

Κατά την έναρξη της εκτέλεσης του λογισμικού LabVIEW, από την αντίστοιχη "συντόμευση", προβάλλεται τη αρχική καρτέλα "Getting Started" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 5.8). Από το κύριο μενού παρέχεται η δυνατότητα των ακόλουθων βασικών επιλογών (μεταξύ άλλων): της δημιουργίας ενός νέου εικονικού οργάνου (VI, Visual Instrument), της δημιουργίας ενός νέου "project", της εκτέλεσης ενός προϋπάρχοντος VI, της εκτέλεσης ενός προϋπάρχοντος project, της αναζήτησης βοήθειας, της αναζήτησης παραδειγμάτων και τέλος της αναζήτησης πηγών στο Διαδίκτυο. Σημειώνεται ότι με την έννοια "project" περιγράφεται η βάση δεδομένων που περιέχει τη συλλογή αρχείων που σχετίζονται με μια εργασία που υλοποιείται στην πλατφόρμα LabVIEW, αρκεί η εισαγωγή τους να υποστηρίζεται από το ενσωματωμένο λογισμικό της βάσης. Για την δημιουργία ενός νέου VI, επιλέγεται από το κύριο μενού η συντόμευση "Blank VI". Με την εκτέλεση αυτής της συντόμευσης, δημιουργούνται δύο νέα παράθυρα, το

παράθυρο "Untitled1 Front Panel" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 5.9) και το παράθυρο "Untitled1 Block Diagram" (βλ. και την εικόνα Διαγράμματος 5.10). Το παράθυρο "Untitled1 Front Panel" χρησιμοποιείται για την δημιουργία της "Πρόσοψης" του VI, ενώ το παράθυρο "Untitled1 Block Diagram" χρησιμοποιείται για την κατάστρωση του συμβολικού προγράμματος (δηλ του "Διαγράμματος Δομών Ελέγχου"), το οποίο θα ελέγχει την λειτουργία του VI. Η εναλλαγή μεταξύ των δύο αυτών παραθύρων μπορεί να γίνεται από την διαδρομή "Windows/ Show Front Panel" και "Windows/ Show Block Diagram" αντίστοιχα, είτε μέσω της συντόμευσης πληκτρολογίου "Ctrl + E".

5.4.3 Διάγραμμα Δομών Ελέγχου εικονικού οργάνου (VI)

5.4.3.1 Γενικά

Η σχεδίαση ενός VI ξεκινά από την κατάστρωση του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου του, στο παράθυρο "Block Diagram". Για την ευκολότερη σχεδίαση και εποπτεία του διαγράμματος, προτείνεται η ενεργοποίηση της εμφάνισης μερικών χρήσιμων παραθύρων εργαλείων. Ένα από αυτά είναι η παλέτα "Function", η οποία εμφανίζει τις συντομεύσεις όλων των δομών ελέγχου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο παράθυρο "Block Diagram", (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 5.11). Η εμφάνιση αυτής της παλέτας γίνεται από την διαδρομή "View/ Functions Palette". Από την παλέτα "Functions" επιλέγονται οι απαιτούμενες δομές ελέγχου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την χάραξη του διαγράμματος δομών ελέγχου. Για ευκολότερη εύρεση του ζητούμενου εργαλείου, συνίσταται η εκτέλεση αναζήτησης της απαιτούμενης λειτουργίας μέσω της συντόμευσης "Search", η οποία βρίσκεται στο πάνω αριστερό άκρο της παλέτας "Functions". Οι δομές ελέγχου που περιλαμβάνονται στο λογισμικό πακέτο του LabVIEW είναι πολυάριθμες. Για τις ανάγκες όμως της παρούσας ΔΕ, επιλέχθηκαν οι πλέον βασικότερες και ευκολότερες στην κατανόηση και χρήση δομές ελέγχου, έτσι ώστε να μην επιβαρυνθεί ο μελλοντικός χρήστης της εφαρμογής με την εμβάθυνση στις πολυεπίπεδες λειτουργίες της πλατφόρμας LabVIEW. Με τη χρήση τέτοιων δομών δημιουργείται διάγραμμα δομών, το οποίο βασίζεται σε "απλά εργαλεία". Αν ένα Διάγραμμα Δομών Ελέγχου μπορεί να θεωρηθεί (και είναι στην ουσία) ένα συμβολικό πρόγραμμα Η/Υ, τότε γίνεται αντιληπτό ότι η πλατφόρμα LabVIEW παρέχει την δυνατότητα σύνθεσης διαγραμμάτων και υπο-διαγραμμάτων δομών ελέγχου κατά την αντίστοιχη έννοια της σύνθεσης κυρίως προγραμμάτων και υπο-προγραμμάτων, και μάλιστα δίνοντας και τρόπους χρήσης που υλοποιούν επαναληπτικούς βρόγχους και πράξεις σύγκρισης.

Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι η σχεδίαση ενός εικονικού οργάνου από την αρχή, για χρήστες οι οποίοι δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία, είναι μάλλον δύσκολη.

Τέτοιοι χρήστες προτείνεται να ξεκινήσουν την σχεδίαση του εικονικού οργάνου που τους ενδιαφέρει με βάση έτοιμα παραδείγματα που παρέχονται για τον σκοπό αυτόν από την μητρική εταιρία της πλατφόρμας (National Instruments), και στην βιβλιογραφία και το διαδίκτυο και άλλες πηγές. Τα έτοιμα αυτά παραδείγματα μπορούν να τροποποιηθούν κατά τις ανάγκες της εφαρμογής που χρειάζεται να εξυπηρετήσουν.

5.4.3.2 Κυριότερες συμβολικές δομές ελέγχου

Γενικά

Οι συμβολικές δομές ελέγχου του LabVIEW υπακούουν πλήρως στις βασικές απαιτήσεις για προγραμματισμό σε γλώσσα υψηλού επιπέδου, με μόνη διαφορά ότι ο προγραμματισμός αυτός υλοποιείται σε γραφικό/συμβολικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, διακρίνονται οι γνωστές βασικές δομές εισόδου (read), εξόδου (write), αριθμητικών πράξεων (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός, διαίρεση κα), λογικών πράξεων (AND, OR κλπ), επαναλήψεων, ελέγχου υποθέσεων (IF-THEN, IF-THEN-ELSE κλπ) κοκ. Επιπλέον διακρίνονται και πιο πολύπλοκες δομές κατασκευασμένες για να εξυπηρετήσουν ακριβώς την συλλογή και την επεξεργασία πειραματικών δεδομένων τις οποίες σε μια συμβατική γλώσσα προγραμματισμού θα τις έλεγε κάποιος "έτοιμες συναρτήσεις βιβλιοθήκης" ή άλλες εξειδικευμένες εντολές. Τέτοιες ειδικές συμβολικές δομές είναι πχ: καταμετρητές, επενεργητές, χρονόμετρα, φίλτρα κλπ.

Οι συμβολικές δομές ελέγχου εισάγονται γενικά μέσω των παραθυρικών επιλογών του περιβάλλοντος εργασίας του LabVIEW, μερικές από τις οποίες είναι διαθέσιμες και με "δεξί κλικ" (ΔΚ) πάνω στην επιφάνεια εργασίας που χρησιμοποιείται για την κατάστρωση του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου. Οι συμβολικές δομές ελέγχου αποτελούνται από εισόδους και εξόδους -που αντιστοιχούν και σε μεταβλητές εισόδου και εξόδου και διαχείρισης σφαλμάτων, οι οποίες συνδέονται σε γειτονικές δομές μέσω διαδρομών που χαράζονται με το ποντίκι του Η/Υ, δημιουργώντας έτσι ένα δίκτυο συνδέσεων. Το χρώμα των γραμμών σύνδεσης αντιπροσωπεύει το είδος των δεδομένων το οποίο διακινείται μέσα από αυτές. Μια γραμμή ξεκινά πάντα από έξοδο μιας δομής (δεξιά πλευρά) και καταλήγει σε είσοδο (αριστερή πλευρά) μίας ή περισσότερων άλλων δομών. Οι μεταβλητές εισόδου που δεν παίρνουν τιμή μέσα στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου μπορούν να πάρουν τιμή από την "Πρόσοψη" του εικονικού οργάνου. Οι μεταβλητές εξόδου επίσης μπορούν να οδηγηθούν στην "Πρόσοψη". Όπως και οι περισσότερες ενέργειες σχεδίασης στο LabVIEW, έτσι και εδώ το κυριότερο εργαλείο του χρήστη είναι το ποντίκι του Η/Υ, μέσω του οποίου εκτελείται η τοποθέτηση των δομών, η χάραξη των διαδρομών αλλά και ο καθορισμός των ιδιοτήτων τους.

Δεδομένου ότι στην παρούσα ΔΕ δεν είναι σκόπιμο να αναπτυχθεί ένας οδηγός για το LabVIEW, σε αυτό το Κεφάλαιο θα εξεταστούν μόνο οι αναγκαίες ειδικές συμβολικές δομές που αφορούν στην ανάπτυξη του καταμετρητή για τον ανιχνευτή BERM. Ως εκ τούτου, θα αγνοηθούν, ή θα θεωρηθούν αυτονόητες ορισμένες από τις βασικές συμβολικές δομές ελέγχου. Ως αναγκαίες δομές θα περιγραφούν στην συνέχεια οι εξής: αριθμητικές και λογικές πράξεις, δομή "Case Structure", δομή "While Loop", δομή "Elapsed Time" και δομή "Threshold Peak Detector".

Δομή ελέγχου συνθήκης "Case Structure"

Μία από τις βασικότερες δομές λογικού ελέγχου συνθήκης είναι η "Case Structure" (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.12). Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για να ελέγξει την ισχύ μιας συνθήκης και αναλόγως να οδηγήσει στην εκτέλεση συγκεκριμένων προκαθορισμένων βημάτων. Ως συνθήκη χρησιμοποιείται μία λογική μεταβλητή, και στην περίπτωση όπου αυτή έχει την λογική τιμή "1" (είναι δηλαδή "ΑΛΗΘΗΣ") εκτελούνται τα βήματα που περιγράφονται στην επιλογή "TRUE". Αν η λογική μεταβλητή είναι "ΨΕΥΔΗΣ" (έχει δηλαδή την λογική τιμή "0"), τότε εκτελούνται τα βήματα που περιγράφονται στην επιλογή "FALSE". Η εισαγωγή της στο διάγραμμα δομών ελέγχου γίνεται μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Structures/ Case Structure". Αυτή η δομή ελέγχου έχει την μορφή ενός πλαισίου στο οποίο εμπεριέχονται οι πράξεις προς εκτέλεση στις περιπτώσεις "TRUE" και "FALSE".

Δομή επαναληπτικού βρόγχου "While Loop"

Με την χρήση επαναληπτικών βρόγχων, εκτελούνται πολλές φορές ομάδες εντολών, οι οποίες βρίσκονται μέσα στον βρόγχο, για όσο χρονικό διάστημα ικανοποιείται η συνθήκη επανάληψης, ή για όσο δεν έχει δοθεί εντολή τερματισμού. Η συνθήκη, η οποία προκαλεί τον τερματισμό των επαναλήψεων μπορεί να πάρει διάφορες μορφές βασισμένες στην άλγεβρα Boole όπως "διακοπή όταν ΑΛΗΘΕΣ", "συνέχεια όσο ΑΛΗΘΕΣ", καθώς επίσης και μορφές βασισμένες στην ορθή λειτουργία του αλγορίθμου ή του λογισμικού (error-driven values) όπως "διακοπή όταν ΛΑΘΟΣ" ή "συνέχεια όσο ΛΑΘΟΣ". Για την εισαγωγή στο LabVIEW μιας γραφικής δομής ελέγχου ενός επαναληπτικού βρόγχου "While Loop" χρησιμοποιείται η διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Structures/ While Loop" από την παλέττα "Functions". Η εισαγωγή αρχίζει με την δημιουργία του πλαισίου επανάληψης, το οποίο θα περιέχει τις προς επανάληψη συμβολικές δομές. Στην κάτω αριστερή άκρη του πλαισίου βρίσκεται ο κόμβος καταμέτρησης επαναλήψεων ("i" σε μπλε) ενώ στην κάτω δεξιά άκρη βρίσκεται ο κόμβος της συνθήκης τερματισμού ("o" σε κόκκινο), (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.13).

Οι ιδιότητες του επαναληπτικού βρόγχου "While Loop" ρυθμίζονται με δεξί "κλικ" στο πλαίσιο της επανάληψης.

Δομή χρονομέτρησης "Elapsed Time"

Σε ποικίλες εφαρμογές, αλλά κυρίως σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν καταγραφή δεδομένων συναρτήσεων του χρόνου, απαιτούνται στοιχεία χρόνου. Μία από τις δομές οι οποίες διαχειρίζονται χρόνους είναι η δομή χρονομέτρησης "Elapsed time" (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.14). Η δομή αυτή καταμετρά τον χρόνο ο οποίος έχει περάσει από την έναρξη της εκτέλεσης του εικονικού οργάνου. Επίσης πληροφορεί και για την τιμή του τρέχοντος πραγματικού χρόνου του συστήματος (ώρα και μέρα εκτέλεσης). Η δομή αυτή προστίθεται στο διάγραμμα δομών ελέγχου μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Timing/ Elapsed Time".

Δομή καταχωρητή "Shift Register"

Στην περίπτωση χρήσης επαναληπτικών βρόγχων, θα πρέπει πάντα να δίνεται προσοχή στην μεταφορά ή όχι των τιμών των μεταβλητών από επανάληψη σε επανάληψη. Σε ορισμένες περιπτώσεις (όπως πχ οι καταμετρήσεις), είναι επιθυμητό οι τιμές των μεταβλητών να μην επαναρχικοποιούνται (γίνονται πάλι μηδέν) μετά το πέρας κάθε επανάληψης. Για την εξασφάλιση της λειτουργίας αυτής χρησιμοποιείται η δομή καταχωρητή "Shift Register". Η δομή δέχεται μια τιμή από μία επανάληψη και την μεταφέρει στην επόμενη επανάληψη. Ένα απλό παράδειγμα χρήσης της "Shift Register" είναι το εξής (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.15): Χρησιμοποιώντας μια δομή ελέγχου συνθήκης τύπου "Case Structure" στο εσωτερικό ενός επαναληπτικού βρόγχου ο οποίος διαρκεί για 250s, μπορεί να υλοποιηθεί ένας καταμετρητής (counter). Αν η ελεγχόμενη συνθήκη έστω με το όνομα INCREMENT είναι αληθής (TRUE) τότε προσθέτει +1 στον καταχωρητή της δομής "Shift Register", ενώ αν είναι ψευδής (FALSE) τον αφήνει αμετάβλητο. Μία δομή "Shift Register" προστίθεται με δεξί κλικ πάνω στο περίγραμμα του επαναληπτικού βρόγχου ("Add Shift Register") και αναπαριστάται από 2 κόμβους, στο αριστερό και το δεξί άκρο του περιγράμματος, οι οποίοι θα πρέπει να ενωθούν με μία οριζόντια γραμμή. Η γραμμή αυτή, εξασφαλίζει την "μεταφορά" της τιμής του καταχωρητή από επανάληψη σε επανάληψη, χωρίς αυτός να μηδενίζεται κάθε φορά που εκτελείται μια επανάληψη. Σε αυτήν την γραμμή μπορούν να προστεθούν και ενέργειες, έτσι ώστε να μεταβάλλεται η μεταφερόμενη τιμή με όποιον τρόπο είναι αναγκαίο.

Δομές τελεστών

Όλοι οι τελεστές είναι δομές ελέγχου οι οποίες εκτελούν πράξεις στις μεταβλητές εισόδου τους. Οι πράξεις αυτές μπορεί να είναι οι συνήθεις αριθμητικές (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός, διαίρεση), λογικές πράξεις και πράξεις σύγκρισης (ίσο, διάφορο, μεγαλύτερο, μικρότερο). Οι τελεστές είναι προσβάσιμοι από τη διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Numeric" για τις αριθμητικές πράξεις, από τη διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Boolean" για τις λογικές πράξεις και από τη διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Comparison" για τις πράξεις σύγκρισης. Οι τελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι οι:

- Τελεστής Σύγκρισης "OR" μεταξύ λογικών μεταβλητών x και y . Αν και οι δύο μεταβλητές είναι FALSE, τότε ο συγκριτής επιστρέφει FALSE, αλλιώς, επιστρέφει TRUE (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.16).
- Τελεστής Σύγκρισης "NOT EQUAL" μεταξύ μεταβλητών x και y . Αν η x είναι ίση με την y τότε επιστρέφει FALSE, αλλιώς επιστρέφει TRUE (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.17).
- Τελεστής Σύγκρισης "AND" μεταξύ λογικών μεταβλητών x και y . Αν και οι δύο μεταβλητές είναι TRUE, τότε ο συγκριτής επιστρέφει TRUE, αλλιώς, επιστρέφει FALSE (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.18).
- Τελεστής πολλαπλασιασμού μεταξύ x και y . Ο τελεστής επιστρέφει το γινόμενο $x*y$, (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.19).
- Τελεστής διαίρεσης μεταξύ μεταβλητών x και y . Ο τελεστής επιστρέφει το πηλίκο της διαίρεσης x/y (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.20).

Δομές επεξεργασίας πινάκων "Index Array"

Στο LabVIEW όταν συλλέγονται χρονοσειρές πειραματικών δεδομένων από εισόδους του H/Y ή χρονοσειρές που δημιουργούνται από τις γεννήτριες σημάτων του LabVIEW, αυτές αποκαλούνται δυναμικά δεδομένα. Τα δυναμικά δεδομένα περιέχουν εκτός από την τιμή του σήματος και την πληροφορία του χρόνου, στον οποίο αυτό καταγράφηκε. Για την επεξεργασία των χρονοσειρών αυτών απαιτείται να μετατραπούν σε πίνακα. Στο πακέτο λογισμικού LabVIEW προσφέρονται διάφορα εργαλεία επεξεργασίας δυναμικών δεδομένων. Ένα από τα κυριότερα εργαλεία επεξεργασίας σημάτων είναι η δομή "Index Array", η οποία επιτρέπει την επιλεκτική χρήση στοιχείων από τα δυναμικά δεδομένα. Η τοποθέτηση της δομής στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου γίνεται από την διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Array/ Index Array" (βλ. και εικόνα του

Διαγράμματος 5.21). Ως μεταβλητή εισόδου δέχεται ένα N-διάστατο πίνακα, και ως μεταβλητή εξόδου επιστρέφει N μονοδιάστατους υποπίνακες.

Δομές διαχείρισης αρχείων και φακέλων

Διατίθενται δομές διαχείρισης αρχείων και φακέλων, οι οποίες εισάγονται από τη διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 5.22). Υπάρχουν και κάποιες περισσότερο εξειδικευμένες δομές οι οποίες εισάγονται από τη διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O/ Adv File Funcs". Για την δημιουργία ενός αρχείου επιλέγεται καταρχάς η θέση του φακέλου που θα το περιέχει. Αυτό γίνεται ως εξής: από τη διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O/ File Constants", εισάγεται στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου ένα "Path Constant". Μέσα σε αυτήν την δομή, πληκτρολογείται το path της θέσης του φακέλου. Από την ίδια διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O/" μπορούν να εισαχθούν στο Διάγραμμα δομές "Open/ Create /Replace File" και "Build Path". Ορίζεται κατά αυτόν τον τρόπο η τελική θέση της δημιουργίας ενός αρχείου μετρήσεων. Εκτός από την θέση, για την δημιουργία ενός αρχείου απαιτείται και το όνομα του αρχείου, το οποίο δίνεται μέσω της μεταβλητής εισόδου της δομής "name or relative path". Είναι σωστό το να γίνεται απελευθέρωση ("κλείσιμο") του αρχείου που δημιουργήθηκε μετά το πέρας της χρήσης του. Η ενέργεια αυτή εισάγεται μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O/ Close File".

5.4.3.3 Συμβολικές δομές ελέγχου επεξεργασίας σήματος

Γενικά

Ως πλήρης πλατφόρμα καταγραφής μετρήσεων, το LabVIEW εμπεριέχει εργαλεία επεξεργασίας σήματος (signal manipulation tools). Στην περίπτωση του LabVIEW ως σήμα θεωρείται μια ακολουθία δυναμικών δεδομένων ή χρονοσειρά από ψηφιοποιημένα πειραματικά δεδομένα. Τα σημαντικότερα εργαλεία επεξεργασίας σήματος, τα οποία χρησιμοποιούνται στην παρούσα ΔΕ είναι οι δομές μετατροπών και η δομή ανίχνευσης κορυφών κυματομορφής. Οι δομές αυτές είναι αναγκαίες διότι, όπως γίνεται κατανοητό από το ανιχνευτικό σύστημα BERM, στην ουσία λαμβάνεται μία ομαλή κυματομορφή τάσης (σχεδόν ευθεία), η οποία παρουσιάζει διαταραχές τύπου αρνητικού παλμού κάθε φορά που ιονίζεται η ατμόσφαιρα του θαλάμου του ανιχνευτή εξαιτίας –α σωματιδίου, ή γενικά κάθε φορά που δημιουργείται κάποιος έντονος ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος μέσα στον θάλαμο του ανιχνευτή.

Δομή ανίχνευσης κορυφών κυματομορφής Threshold peak detector

Στην μελέτη αναλογικών σημάτων χρησιμοποιούνται συχνά φίλτρα και άλλες δομές επεξεργασίας σημάτων. Μία από αυτές τις δομές είναι η "Threshold peak detector" (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.23), η οποία αποτελεί έναν αλγόριθμο εύρεσης και καταγραφής "κορυφών" σε αναλογικά σήματα κυματομορφών, με δυνατότητα καθορισμού παραθύρου αποδοχής-απόρριψης. Η δομή αυτή αναλύει την είσοδο πινακοποιημένων δεδομένων όπως προέρχονται από την μετατροπή δυναμικών δεδομένων σήματος, εντοπίζοντας έγκυρες κορυφές μέσα στην κυματομορφή εισόδου. Οι παράμετροι οι οποίες ορίζουν την εγκυρότητα μιας κορυφής είναι το κατώφλι αποδοχής ύψους κορυφής (Threshold) και η χρονική διάρκειά της (πλάτος ή width σε samples), οι οποίες ρυθμίζονται από τις αντίστοιχες παραμέτρους εισόδου της δομής. Η δομή "Threshold Peak Detector", καταμετράει επίσης το πλήθος των αποδεκτών κορυφών καθώς και τα χρονικά σημεία από τα οποία ξεκινούν οι αποδεκτές κορυφές (indices). Η εισαγωγή της δομής γίνεται από την διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Signal Processing/ Signal Operation/ Threshold Peak Detector".

5.4.3.4 Έτοιμα παραδείγματα εικονικού οργάνου

Το πρόγραμμα LabVIEW παρέχει πληθώρα επεξηγημένων παραδειγμάτων εικονικών οργάνων για την ευκολότερη κατανόηση της λειτουργίας του. Το εικονικό όργανο "Continuous Sound Input" είναι ένα από αυτά (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.24). Το εικονικό αυτό όργανο παρουσιάζει έναν τρόπο συνεχούς δειγματοληψίας από την κάρτα ήχου με την χρήση ενός μικροφώνου, το οποίο είναι συνδεδεμένο στην κάρτα ήχου. Το παράδειγμα αυτό είναι εύκολο να εντοπισθεί εκτελώντας μια αναζήτηση στο "Help/ Find Examples" του LabVIEW, χρησιμοποιώντας τις λέξεις κλειδιά "Continuous Sound Input". Αυτό το εικονικό όργανο χρησιμοποιήθηκε πολύ αποδοτικά για τους σκοπούς της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας καθώς το σήμα από τον ανιχνευτή BERM οδηγήθηκε στην είσοδο μιας κάρτας ήχου δίκην μικροφώνου.

5.4.4 Πρόσοψη εικονικού οργάνου (VI)

5.4.4.1 Γενικά

Όπως γίνεται κατανοητό, ένα εικονικό όργανο της πλατφόρμας LabVIEW στηρίζει την λειτουργία του στην χάραξη του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου. Η διεπαφή του εικονικού οργάνου (VI) με τον χρήστη στηρίζεται στην σύνθεση της Πρόσοψης του ("Front Panel"). Μέσω του παραθύρου της Πρόσοψης του VI, ο χρήστης μπορεί να επέμβει στις ρυθμίσεις του οργάνου, να έχει πρόσβαση στις μετρήσεις του οργάνου αλλά και να αλληλεπιδρά με την λειτουργία του. Όπως και με την

χάραξη του Διαγράμματος των Δομών Ελέγχου, η τοποθέτηση των ενδείξεων και των δομών ελέγχου της Πρόσοψης γίνεται μέσω του ποντικιού του Η/Υ. Κατά την σχεδίαση της Πρόσοψης παρέχεται η δυνατότητα γραφικής επέμβασης στην μορφή της. Με τρόπο παρόμοιο με οποιοδήποτε λογισμικό σχεδίασης σε Η/Υ, ο χρήστης διαμορφώνει το σχήμα του παραθύρου, τις διαστάσεις και τα χρώματα της Πρόσοψης. Πέραν του καθαρά γραφικού κομματιού της σχεδίασης της Πρόσοψης, ο χρήστης μπορεί και πρέπει να επιμεληθεί και το "λειτουργικό" κομμάτι της. Ο όρος "λειτουργικό" κομμάτι της Πρόσοψης, αναφέρεται σε όλες τις δομές ελέγχου Πρόσοψης από τον χρήστη, οι οποίες χρειάζεται να απεικονίζονται στο παράθυρο της Πρόσοψης. Τέτοιες δομές μπορεί να είναι οι οθόνες ενδείξεων, τα κουμπιά ελέγχου αλγορίθμων, οι ενδείξεις τύπου LED κλπ. Οι σημαντικότερες από τις δομές ελέγχου Πρόσοψης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ΔΕ θα περιγραφούν στη συνέχεια.

5.4.4.2 Δομές ελέγχου Πρόσοψης

Γενικά

θα εξεταστούν σε αυτό το σημείο μόνο οι αναγκαίες ειδικές συμβολικές δομές που αφορούν στην ανάπτυξη της Πρόσοψης του καταμετρητή για τον ανιχνευτή BERM. Ως τέτοιες δομές θα περιγραφούν στην συνέχεια οι εξής: δομές ελέγχου Πρόσοψης για την απεικόνιση δεδομένων (Indicators) και δομές για την εισαγωγή παραμέτρων ρυθμίσεως (Controls).

Δομές απεικόνισης δεδομένων (Indicators)

Το LabVIEW παρέχει την δυνατότητα επιλογής της "εμφάνισης" μιας εικονικής ένδειξης αποτελεσμάτων (Indicator) στην Πρόσοψη με μορφοποίηση που επιλέγεται από διάφορες βιβλιοθήκες έτοιμων μορφοποιήσεων, καθώς επίσης και την δυνατότητα δημιουργίας καινούργιων μορφοποιήσεων. Με την χρήση ενδείξεων (Indicators) είναι δυνατή η απεικόνιση τιμών μεταβλητών και δεδομένων καθ'όλη την εκτέλεση του προγράμματος του εικονικού όργάνου. Τα indicators μπορούν να προβάλλουν είτε αριθμητικά είτε αλφαριθμητικά στοιχεία. Οι έτοιμες βιβλιοθήκες εικονικών ενδείξεων είναι προσβάσιμες μέσω της διαδρομής "Controls", επιλέγοντας το κατάλληλο style (Express, Classic, Modern, System) και στη συνέχεια τον κατάλληλο Indicator (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.25). Ανάμεσα στις διάφορες ενδείξεις οι οποίες παρέχονται από το πακέτο του LabVIEW, υπάρχουν και οι ενδείξεις τύπου ενδεικτικό "λαμπάκι" LED, οι οποίες λειτουργούν ως ψηφιακές ενδείξεις ON και OFF (ή ακριβέστερα TRUE και FALSE), (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.26).

Δομές ρύθμισης παραμέτρων (Controls)

Ομοίως με τα Indicators εσάγονται και οι δομές "Controls" από τη διαδρομή "Controls", επιλέγοντας το κατάλληλο style (Express, Classic, Modern, System) και στη συνέχεια τον κατάλληλο Control (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.27). Οι δομές αυτές δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει από την Πρόσοψη του εικονικού οργάνου δεδομένα προς το αντίστοιχο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου. Οι τιμές που δίνονται με τις δομές αυτές αντιστοιχούν σε ρυθμιζόμενες μεταβλητές του συστήματος, και τυχόν αυξομείωση τους συνεπάγεται ρύθμιση των μεταβλητών αυτών. Η μετατροπή οποιασδήποτε δομής Indicator σε δομή Control και τούμπαλιν γίνεται άμεσα, χρησιμοποιώντας δεξί κλικ και την επιλογή "change to indicator/control". Ανάμεσα στις διάφορες δομές Control οι οποίες παρέχονται από το πακέτο του LabVIEW, υπάρχουν και οι δομές τύπου εικονικό "κουμπι". Με την χρήση εικονικών κουμπιών ("buttons") επιτρέπεται ο έλεγχος μεταβλητών άλγεβρας BOOLE, (TRUE ή FALSE).

5.5 Υλοποίηση καταμετρητή BERM σε LabVIEW

5.5.1 Διάγραμμα Δομών Ελέγχου Continuous Sound Input

Το λογισμικό LabVIEW παρέχει πληθώρα επεξηγημένων παραδειγμάτων για την ευκολότερη κατανόηση της λειτουργίας του. Για την αποφυγή δημιουργίας εκτενούς και πολύπλοκου αλγορίθμου, η κατασκευή του εικονικού οργάνου που αντιστοιχεί στον καταμετρητή του συστήματος BERM στηρίχθηκε κυρίως στην επεξεργασία και τη δημιουργική σύνθεση από υπάρχοντα παραδείγματα. Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θεωρήθηκε ότι η ανάπτυξη του αναγκαίου Διαγράμματος Δομών Ελέγχου ως συνισταμένη διαγραμμάτων και υπο-διαγραμμάτων, παρόλο που προγραμματιστικά είναι ορθότερη, θα φαινόταν πολύπλοκη στον άπειρο αναγνώστη και έτσι αποφασίστηκε η σύνθεση όλων των αναγκαίων δομών ελέγχου να γίνει σε ένα μοναδικό διάγραμμα. Η περιγραφή της σχεδίασης του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου του εικονικού οργάνου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζονται με τον φιλικότερο δυνατό τρόπο προς τον αρχάριο χρήστη οι λειτουργίες που εξυπηρετούν οι διάφορες συμβολικές δομές ελέγχου.

Ένα χρήσιμο εργαλείο, το οποίο παρέχει μεγάλη βοήθεια κατά το συμβολικό προγραμματισμό στο λογισμικό LabVIEW είναι το παράθυρο "Show Context Help". Η εμφάνιση του παραθύρου γίνεται από την διαδρομή "Help/ Show Context Help". (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.28). Το παράθυρο αυτό, εμφανίζει ένα σύντομο κείμενο περιγραφής της δομής ελέγχου, την οποία επιλέγει ο χρήστης με την τεχνική "mouse over", παρέχοντας έτσι άμεση πληροφόρηση για τον σκοπό και την λειτουργία της αλλά και πρόσβαση στο μενού αναλυτικής βοήθειας. Αν οι

πληροφορίες που παρέχονται από αυτό το παράθυρο δεν είναι αρκετές για την κατανόηση της λειτουργίας της επιλεγμένης δομής ελέγχου, ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο πλήρες άρθρο-βοήθειας από την συντόμευση "Detailed Help" (το ερωτηματικό), στην βάση του παραθύρου "Context Help".

Το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου για το ζητούμενο εικονικό όργανο καταμέτρησης εξυπηρετεί 4 βασικές λειτουργίες:

- την χρήση μιας κάρτας ήχου H/Y για την καταγραφή του σήματος από τον θάλαμο ιονισμού BERM,
- τον καθορισμό της χρονικής διάρκειας της μέτρησης,
- την αναγνώριση παλμών ιονισμού στο σήμα που προέρχεται από τον BERM

και τέλος

- την καταγραφή του αριθμού των ιονισμών που μετρήθηκαν κάθε 10 λεπτά σε ένα αρχείο για μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων από τον χρήστη.

Η ανάπτυξη του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου ξεκίνησε από την τροποποίηση του έτοιμου εικονικού οργάνου "Continuous Sound Input", το οποίο παρουσιάστηκε κατ'αρχήν στην προηγούμενη ενότητα (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.24) Το εικονικό αυτό όργανο, στην ουσία μπορεί να μετρά και να καταγράφει παλμούς τάσης. Για την καλύτερη κατανόηση του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου στην εικόνα του Διαγράμματος 5.24, διακρίνονται με αρίθμηση τρεις περιοχές: η "1.", η "2." και η "3.". Η περιοχή "1." αναπαριστά γραφικά την είσοδο στο κυρίως πρόγραμμα, δηλαδή τις μεταβλητές και τις παραμέτρους εισόδου του εικονικού οργάνου. Η περιοχή "2." αναπαριστά γραφικά το κυρίως πρόγραμμα. Η περιοχή "3." αναπαριστά γραφικά την έξοδο από το κυρίως πρόγραμμα.

Οι μεταβλητές που διακρίνονται στην περιοχή "1." (βλ. και την αντίστοιχη μεγέθυνση στην εικόνα του Διαγράμματος 5.29) έχουν ως εξής:

- Device ID: μεταβλητή που καθορίζει από ποια κάρτα ήχου του συστήματος H/Y θα γίνεται η δειγματοληψία τάσεως. Η μεταβλητή αυτή μπορεί να πάρει την τιμή "0" για την 1^η (εξ ορισμού ή default) κάρτα ήχου, "1" για την 2^η κ.ο.κ. Στην εδώ περίπτωση για την αποφυγή καταστροφής του H/Y σε περίπτωση σφάλματος / βραχυκυκλώματος χρησιμοποιήθηκε μια δεύτερη εξωτερική περιφερειακή κάρτα ήχου (τύπου USB) και όχι η onboard κάρτα ήχου του H/Y. Ως εκ τούτου, η τιμή της μεταβλητής αυτής πρέπει να είναι "1". Η τιμή της μεταβλητής αυτής εισάγεται στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου από την Πρόσοψη.

- Continuous Samples: μεταβλητή που καθορίζει αν η ροή μετρήσεων από την κάρτα ήχου θα είναι συνεχόμενη.
- Sound Format: πίνακας που περιέχει τα Sample Rate (Samples/sec), Number of channels, Bits per sample.
- Number of Samples/ch: μεταβλητή που καθορίζει τον αριθμό των δειγμάτων που καταγράφονται σε κάθε κανάλι δειγματοληψίας.

Οι τιμές των μεταβλητών δειγματοληψίας "Continuous Samples", "Sound Format" και "Number of Samples/ch" ορίζονται με επιλογή της μεταβλητής με το ποντίκι, και εισαγωγή της τιμής της μέσω πληκτρολογίου. Για την βέλτιστη λειτουργία του αλγορίθμου στο πλαίσιο της χρήσης μια κοινής κάρτας ήχου για τους σκοπούς της παραλαβής σήματος τάσεως από τον θάλαμο ιονισμού BERM χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τιμές:

Number of Samples/ch: 10000

Continuous Samples: NAI

Sound Format ως εξής:

Sample Rate (Samples/sec): 44100 (44.1 KHz)

Number of channels: 1 [χρησιμοποιείται προφανώς ένα κανάλι από τα διαθέσιμα συνήθως δύο μίας κάρτας ήχου: (α) το "mic-in" και (β) το "line-in"). Εδώ προτιμάται το "monoφωνικό" κανάλι "mic-in"]

Bits per sample: 8

Η περιοχή "2." όπως παρουσιάζεται στην εικόνα του Διαγράμματος 5.24 λειτουργεί ως εξής:

Μέσα στον επαναληπτικό αυτό βρόγχο της δομής "While Loop" εκτελείται η συνεχής επανάληψη και η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων, μέχρις ότου αυτή διακοπεί από τον χρήστη ή εντοπισθεί κάποιο σφάλμα.

Η περιοχή "3." όπως παρουσιάζεται στην εικόνα του Διαγράμματος 5.24 λειτουργεί ως εξής:

Μετά τον τερματισμό του βρόγχου "While Loop", γίνεται η απελευθέρωση των δεσμευμένων πόρων (κάρτα ήχου) και η εμφάνιση του μηνύματος του λάθους το οποίο τερμάτισε τον αλγόριθμο, αν αυτό υπήρξε.

5.5.2 Τροποποίηση του διαγράμματος Continuous Sound Input

Το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου του Continuous Sound Input όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως δεν εξυπηρετεί πλήρως τους σκοπούς της δειγματοληψίας που απαιτείται για την καταγραφή παλμών τάσεων από τον θάλαμο ιονισμού BERM. Για

παράδειγμα, η δομή που κάνει την γραφική αναπαράσταση των συλλεγόμενων δεδομένων (δηλ. η "Raw Data" στην εικόνα του Διαγράμματος 5.24), δεν χρειάζεται και μπορεί να αφαιρεθεί. Χρειάστηκε επιπλέον να προστεθούν ορισμένες δομές ελέγχου, οι οποίες να διαχειρίζονται τα ακόλουθα καθήκοντα:

- Τήρηση χρονικών στοιχείων μέσω της δομής "Elapsed Time"
- Ανίχνευση κορυφών κυματομορφής με τη βοήθεια της δομής "Threshold peak detector"
- Καταμέτρηση κορυφών κυματομορφής με τη βοήθεια της δομής "Shift Register"
- Καταγραφή αποτελεσμάτων σε αρχείο μέσω δομών διαχείρισης αρχείων
- Εξασφάλιση της διεπαφής του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου με την Πρόσοψη του εικονικού οργάνου (δηλαδή με τον ίδιο το χρήστη).
- Διαχείριση σφαλμάτων

Για να γίνει δυνατόν να συμπληρωθούν περισσότερες δομές ελέγχου στον βρόγχο "While Loop", το πλαίσιο του βρόγχου επεκτείνεται με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται σε όλα τα παραθυρικά περιβάλλοντα, με αριστερό-κλικ και σύρσιμο σε κάποια από της 4 γωνίες του. Το τελικό Διάγραμμα Δομών Ελέγχου όπως τροποποιήθηκε διακρίνεται στην εικόνα του Διαγράμματος 5.30. Ακολουθεί η επί μέρους ανάλυση των τροποποιήσεων και των αναγκαίων προσθηκών.

Τήρηση χρονικών στοιχείων

Η συλλογή μετρητικών δεδομένων πρέπει να εκτελείται για χρονικό διάστημα, το οποίο ορίζεται από τον χρήστη με μεταβλητή, που ρυθμίζεται από την Πρόσοψη του εικονικού οργάνου. Ο έλεγχος της διάρκειας της μέτρησης γίνεται μέσω της δομής "Elapsed Time". Η τοποθέτηση της δομής αυτής στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου διακρίνεται σε μεγέθυνση στην εικόνα του Διαγράμματος 5.31. Όπως έχει σημειωθεί, η δομή "Elapsed Time" καταμετρά τον χρόνο, ο οποίος έχει περάσει από την έναρξη της εκτέλεσης του εικονικού οργάνου (VI) και αποδίδει διάφορες εκφράσεις του χρόνου αυτού. Η δήλωση της χρονικής διάρκειας για την οποία θα εκτελεστεί η δομή αυτή γίνεται μέσω της μεταβλητής εισόδου "Time Target (s)". Για την ρύθμιση της χρονικής αυτής διάρκειας τοποθετήθηκε στην Πρόσοψη του εικονικού οργάνου μία δομή "Controls", που συνδέεται με το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου με τρόπο που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Στην παρούσα ΔΕ ο χρόνος χρησιμοποιείται ως "χρόνος από την χρονική στιγμή της έναρξης της εκτέλεσης του εικονικού οργάνου (VI)", δηλαδή ΩΡΕΣ:ΛΕΠΤΑ:ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΑ από την έναρξη των μετρήσεων. Γι'αυτόν τον λόγο, με δεξί κλικ στο εικονίδιο "PRESET

TIME:", επιλέγοντας "Display Format", ορίσθηκε η μορφοποίηση της ένδειξης του χρόνου ως "Absolute Time", "HH:MM:SS". Μόλις συμπληρωθεί η χρονική διάρκεια - στόχος, η μεταβλητή εξόδου "Time has Elapsed" παίρνει την λογική τιμή "1" (δηλ. "True").

Ανίχνευση κορυφών κυματομορφής

Η επεξεργασία του σήματος που λαμβάνεται από την κάρτα ήχου γίνεται με τη δομή "Threshold Peak Detector". Η τοποθέτηση της δομής αυτής στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου διακρίνεται σε μεγέθυνση στην εικόνα του Διαγράμματος 5.32. Ως είσοδο σήματος "X" στο "Threshold Peak Detector" χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που καταγράφονται από την κάρτα ήχου (έξοδος "data" της δομής "Sound Input Read.vi"), αφού πρώτα μετασχηματιστούν από δυναμικά δεδομένα χρόνων - σημάτων σε μονοδιάστατο πίνακα καθαρής κυματομορφής (δηλ. μόνο σειριακή ακολουθία σημάτων). Η μετατροπή αυτή γίνεται κάνοντας εξαγωγή μόνο της πρώτης στήλης των Δυναμικών Δεδομένων μέσω μιας δομής επεξεργασίας πινάκων "Index Array" (προσθήκη σύμφωνα με τα όσα έχουν επεξηγηθεί μέσω της διαδρομής: "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Array/ Index Array", και ως μεταβλητή εξόδου επιλέγεται η "Element #1", βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.33). Το "κατώφλι" αποδοχής-απόρριψης των κορυφών καθορίζεται από την τιμή που δίνεται στην μεταβλητή εισόδου "Threshold" της δομής "Threshold Peak Detector". Για την ρύθμισή της τοποθετείται στην Πρόσοψη του εικονικού οργάνου μία δομή Controls, που συνδέεται με το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου με τρόπο που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Το απαιτούμενο πλάτος για να χαρακτηριστεί μια κορυφή ως "αποδεκτή", η χρονική διάρκεια δηλαδή που θα πρέπει να παραμείνει το σήμα πάνω από το κατώφλι, ρυθμίζεται από την μεταβλητή εισόδου "Width" της δομής "Threshold Peak Detector". Οι μονάδες του "Width" δεν είναι δευτερόλεπτα, αλλά δείγματα, "Samples". Έχοντας ορίσει την ταχύτητα δειγματοληψίας σε 44.1 kHz και γνωρίζοντας ότι κάθε παλμός προερχόμενος από ιονισμό στον θάλαμο BERM θα παράγει παλμό στην έξοδο του Συγκριτή διάρκειας λίγων ms, επιλέγεται το "Width" ως 44.1×0.1 Samples ή 4 Samples. Με άλλα λόγια αυτό σημαίνει ότι ο παλμός που ζητείται να ανιχνευθεί θα πρέπει να έχει διάρκεια τουλάχιστον 0.1ms. Η δομή "Threshold Peak Detector" εμπεριέχει έναν καταμετρητή ("Count"), ο οποίος επιστρέφει στην έξοδό του τον αριθμό των έγκυρων κορυφών που εντοπίστηκαν. Έχοντας όμως τοποθετήσει το "Threshold Peak Detector" εντός του επαναληπτικού "While Loop" η τιμή αυτού του καταμετρητή επαναρχικοποιείται σε κάθε επανάληψη. Με δεδομένο ότι ο καταμετρητής δεν μπορεί να κρατήσει αρχείο των προηγούμενων μετρήσεων και στην αρχή της κάθε επανάληψης έχει πάντα την αρχική τιμή "0" (μηδέν), ο "Threshold Peak Detector" όπως έχει εισαχθεί σε

αυτό το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου, περιορίζεται στο να λειτουργεί ως απλός "ανιχνευτής κορυφών", ο οποίος επιστρέφει "Count≠0" στην περίπτωση που εντοπιστεί έγκυρη κορυφή.

Καταμέτρηση κορυφών κυματομορφής

Η έξοδος του καταμετρητή "Count" ελέγχεται συνεχώς αν είναι διάφορη του "0" μέσω μιας συνθήκης σύγκρισης "Not Equal to 0?", η οποία τοποθετήθηκε μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Comparison/ Not Equal To 0?" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 5.34). Όταν εντοπίζεται κορυφή στην κυματομορφή (και κατ'επέκταση ιονισμός στον θάλαμο BERM), ο καταμετρητής παίρνει τιμή διάφορη του "0", οπότε η συνθήκη παίρνει την τιμή "1" ("True"), διαφορετικά παραμένει στην τιμή "0" ("False"). Για να γίνει δυνατή η καταμέτρηση των παλμών, κάθε φορά που εντοπίζεται μια κορυφή, εισάγεται μία δομή "Case Structure" στο πλαίσιο της οποίας ορίσθηκαν από τον προγραμματιστή οι ενέργειες προς εκτέλεση για κάθε μια από τις ελεγχόμενες περιπτώσεις της συνθήκης (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.34). Οι ελεγχόμενες περιπτώσεις είναι δύο: Αν ικανοποιείται η συνθήκη (που χαρακτηρίζεται με περιγραφή από τον προγραμματιστή "Is there a PEAK detected?") η δομή φροντίζει ώστε να προστίθεται "+1" σε έναν καταμετρητή με το όνομα "COUNTS". Στη δεύτερη περίπτωση που δεν έχει εντοπιστεί έγκυρη κορυφή σε αυτήν την επανάληψη, η τιμή του καταμετρητή "COUNTS" παραμένει ως έχει. Ο καταμετρητής "COUNTS" δημιουργείται στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου με χρήση της δομής "Shift Register", η οποία προστίθεται με τρόπο που ήδη έχει περιγραφεί. Για την ορθή λειτουργία του καταμετρητή για τις εδώ ανάγκες, η δομή "Shift Register" αρχικοποιείται με αρχική τιμή το "0", με την σύνδεση της αριθμητικής τιμής "0" στο αριστερό άκρο της. Για την προσθήκη μιας αριθμητικής τιμής στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την διαδρομή "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Numeric/ Numeric Constant" και να πληκτρολογήσει μέσα στο δημιουργούμενο πλαίσιο τον επιθυμητό αριθμό.

Καταγραφή αποτελεσμάτων σε αρχείο

Οι μετρήσεις του εικονικού οργάνου είναι ζητούμενο να καταγράφονται σε κάποιο αρχείο για μετέπειτα επεξεργασία από τον χρήστη. Για την δημιουργία του αρχείου αυτού, αλλά και την δημιουργία του αντίστοιχου φακέλου, στο οποίο το αρχείο θα τοποθετηθεί, χρησιμοποιήθηκαν δομές ελέγχου αρχείων. Κατ'αρχήν επιλέχθηκε η θέση του φακέλου που θα τα περιέχει. Κατά τα συνήθη σε Λειτουργικά Συστήματα MS Windows κατάλληλη είναι η θέση "C:\Program Files\NTUA_BERM". Από την επιλογή "File Constants" της διαδρομής "File I/O", τοποθετήθηκε στην επιφάνεια εργασίας του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου ένα πλαίσιο "Path Constant". Μέσα σε

αυτό το πλαίσιο, πληκτρολογείται η θέση του υπόψιν φακέλου δηλαδή η "C:\Program Files\NTUA_BERM". Για να καλυφθεί η περίπτωση που κάποιος φάκελος με το ίδιο όνομα υπάρχει ήδη σε αυτήν τη θέση, χρησιμοποιείται το εργαλείο "Check if File or Folder exists.vi" από την επιλογή "Adv File Funcs". Όπως υποδεικνύει και το όνομά του, το εργαλείο αυτό ελέγχει αν υπάρχει φάκελος ή αρχείο το οποίο ικανοποιεί προκαθορισμένα κριτήρια στην προς-έλεγχο θέση, και αναλόγως επιστρέφει "TRUE" ή "FALSE". Για τις εδώ ανάγκες, με χρήση μίας δομής "Case Structure" σε περίπτωση που δεν υπάρχει ήδη ο φάκελος "NTUA_BERM", αυτός δημιουργείται, ενώ σε αντίθετη περίπτωση δεν εκτελείται καμία ενέργεια (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.35). Αυτό υλοποιήθηκε ως εξής: Από τις επιλογές της διαδρομής "File I/O" τοποθετήθηκαν στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου δομές "Open/Create/Replace File" και "Build Path". Στην είσοδο "base path" της δομής "Build Path" συνδέεται η έξοδος της συνθήκης "Does folder "NTUA_BERM" exist?", ενώ η έξοδος της δομής "Build Path" συνδέθηκε με την είσοδο "file path (use dialog)" της δομής "Open/Create/Replace File". Ορίσθηκε κατά αυτόν τον τρόπο η θέση της δημιουργίας του αρχείου μετρήσεων. Εκτός από την θέση, για την δημιουργία ενός αρχείου απαιτείται και το όνομα του αρχείου. Για τους σκοπούς της παρούσας ΔΕ επιλέχθηκε η μορφοποίηση του ονόματος του αρχείου να είναι

"YYYY.MM.DD@hh.mm.ss.txt"

Το τμήμα "YYYY" αναπαριστά τα 4 ψηφία του έτους καταγραφής, το τμήμα "MM" περιγράφει τα 2 ψηφία του μήνα καταγραφής, ενώ το τμήμα "DD" την ημέρα του μήνα καταγραφής. Το δεύτερο συνθετικό μέρος του ονόματος περιγράφει την ώρα έναρξης της καταγραφής των μετρήσεων σε μορφή "*Ωρες:Λεπτά:Δευτερόλεπτα*". Ένα παράδειγμα ονόματος θα ήταν το "2010.01.28@19.59.48.txt". Για να επιτευχθεί η καταγραφή του χρόνου στο όνομα του αρχείου, το LabVIEW παρέχει την δυνατότητα εξαγωγής σε μορφή κειμένου του χρόνου του συστήματος μέσω της δομής "Get Date/Time String" από τη διαδρομή "ΔΚ/ Programming/ Timing/ Get Date/Time String". Η ακολουθία χαρακτήρων "Get Date/Time String", αφού πρώτα μετατραπεί σε "Path" με χρήση μίας δομής μετατροπής "File I/O/ String to Path", συνδέεται με την είσοδο "name or relative path" της δομής "Build Path". Η μορφή του "string" που χρησιμοποιείται στο όνομα του αρχείου ορίσθηκε ως "%Y.%m.%d@%H.%M.%S.txt" από την είσοδο "time string format" της δομής "Get Date/Time String". Το "path", το οποίο προέρχεται από την έξοδο της δομής "Build Path" αποτελεί την "ταυτότητα" του εκάστοτε αρχείου μετρήσεων, οπότε θα πρέπει να συνδεθεί στην είσοδο ("Input file", "file path" ή "refnum") οποιασδήποτε δομής ελέγχου σχετίζεται με την καταγραφή των μετρήσεων. Μέσω "numerical constant" χρειάσθηκε να ορισθούν και άλλες δύο μεταβλητές εισόδου της δομής

"Open/Create/Replace File", που καθορίζουν τον τρόπο διαχείρισης του δημιουργηθέντος αρχείου. Για την είσοδο "operation" επιλέχθηκε η ρύθμιση "Open/Create", ενώ για την είσοδο "access" επιλέχθηκε η ρύθμιση "Read/Write". Όπως λήφθηκε μέριμνα για την ορθή δημιουργία του φακέλου και του αρχείου καταγραφής μετρήσεων, έτσι έγιναν και οι απαραίτητες ενέργειες για το κλείσιμο του αρχείου όταν ολοκληρωθεί η εκτέλεση του εικονικού οργάνου. Η ενέργεια εκτελείται μέσω της δομής "ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O/ Close File".

Η λειτουργία που απαιτείται από το εικονικό όργανο είναι η καταγραφή του πλήθους των έγκυρων κορυφών, και κατ'επέκταση των ιονισμών στον θάλαμο του BERM, ανά διαστήματα 10 λεπτών σε ένα αρχείο μετρήσεων. Για την δημιουργία του διαστήματος των 10 λεπτών (600s) χρησιμοποιήθηκε, επίσης, μία δομή "Elapsed Time", βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.36. Ως "Time target (s)" ορίσθηκαν τα 600s. Όταν ο χρόνος αυτός παρέλθει εκτελείται η επιλογή "TRUE" της συνθήκης "Has there been 10 MINUTES since the last DATALOG?" που τοποθετήθηκε με τη χρήση μιας δομής "Case Structure". Για την καταγραφή μόνο του νέου πλήθους κορυφών (counts) που παρατηρήθηκαν μέσα στα τελευταία 10 λεπτά χρησιμοποιήθηκε ένας επαναληπτικός βρόγχος, ο οποίος αφαιρεί τα counts που μετρήθηκαν μέχρι το προηγούμενο 10λεπτο από τα συνολικά counts που μετρήθηκαν μέχρι αυτό το 10λεπτο. Προσδιορίζονται με αυτόν τον τρόπο τα counts του τελευταίου 10λέπτου. Η λειτουργία αυτή εκτελείται μέσω μιας δομής "Formula Node" ("ΔΚ/ Functions/ Programming/ Structures/ Formula Node"). Η δομή αυτή τοποθετείται με την χάραξη ενός πλαισίου, το οποίο περιέχει τις ενέργειες προς εκτέλεση. Με δεξί κλικ στην αριστερή πλευρά του πλαισίου της δομής "Formula" προστίθενται Είσοδοι ("Add Input"), ενώ αντίστοιχα, με δεξί κλικ στην δεξιά πλευρά του πλαισίου προστίθενται Έξοδοι ("Add Output"). Η μορφή του κώδικα που εισάγεται μέσα στην δομή "Formula" προβλέπει ότι κάθε εντολή θα πρέπει να τελειώνει με ένα semicolon ";". Στην παρούσα εφαρμογή, η Formula δέχεται σαν είσοδο το πλήθος των μετρηθέντων κορυφών μέχρι τη στιγμή που καλείται υπό την ονομασία "new". Δέχεται επίσης ως είσοδο το πλήθος των καταμετρηθέντων κορυφών του προηγούμενου 10λέπτου με την ονομασία "oldin". Από το πλήθος των "νέων counts" αφαιρεί τα "counts του προηγούμενου 10λέπτου" και αποθηκεύει αυτήν την τιμή στην μεταβλητή "saved". ("saved = new - oldin;"). Μετά τον υπολογισμό του πλήθους των μετρήσεων αυτού του 10λέπτου, η μεταβλητή "oldout" παίρνει την τιμή των συνολικών μετρήσεων μέχρι τη στιγμή της κλήσεως, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί στην επόμενη επανάληψη ("oldout = new;"). Για να χρησιμοποιηθεί στην επόμενη επανάληψη, η Έξοδος "oldout" ενώνεται με την Είσοδο "oldin". Το LabVIEW αναγνωρίζοντας την δημιουργία βρόγχου ανάδρασης που δημιουργήθηκε με αυτόν τον τρόπο, επισημαίνει τον

βρόγχο αυτό με ένα βελάκι "Feedback Loop" και ζητάει την αρχική του τιμή. Η αρχική του τιμή, δηλαδή η τιμή την οποία παίρνει στην πρώτη επανάληψη, ορίζεται ως "0" μέσω ενός "numeric constant". Έχοντας προσδιορίσει το πλήθος των καταμετρήσεων για ένα 10λεπτο, η τιμή αυτή θα πρέπει να αποθηκευτεί σε ένα αρχείο. Η αποθήκευση γίνεται μέσω της δομής "Format Into File" ("ΔΚ/ Functions/ Programming/ File I/O/ Format Into File"). Ως Εισόδους η δομή αυτή απαιτεί ως μεταβλητές εισόδου το όνομα του αρχείου, στο οποίο αποθηκεύονται οι τιμές, "input file" (δηλαδή τη θέση του αρχείου όπως δημιουργήθηκε), τις τιμές προς αποθήκευση ("input1", "input2", κλπ) καθώς και το "ErrorIn" από τις δομές που συνδέονται μαζί της (στην συγκεκριμένη περίπτωση από την δομή "Open/Create/Replace File"). Στην πρώτη Είσοδο τιμών προς αποθήκευση, "input1", συνδέθηκε η τιμή του χρόνου, η οποία προέρχεται από την δομή "Elapsed Time" που ελέγχει την λειτουργία του εικονικού οργάνου. Στην δεύτερη Είσοδο τιμών προς αποθήκευση, "input2", συνδέονται οι τιμές που προέρχονται από την μεταβλητή "saved" της δομής "Formula". Η δομή "Format into File" παρέχει επίσης την δυνατότητα μορφοποίησης των δεδομένων που αποθηκεύονται μέσω ενός string μορφοποίησης ("format string"). Για την εύκολη μετέπειτα επεξεργασία των μετρήσεων από τον χρήστη επιλέχθηκε η ακόλουθη μορφοποίηση:

"%<%H:%M>t\t%d\n"

Η μορφοποίηση αυτή επεξηγείται στα εξής:

- **%<%H:%M>t:** στοιχείο χρόνου ("%t") με εσωτερική διαμόρφωση "Ωρών:Λεπτών" (%H:%M), τα "<>" προσημαίνουν εσωτερική διαμόρφωση.
- **\t :** ένας χαρακτήρας TAB
- **%d:** μια αριθμητική τιμή ακέραιου δεκαδικού αριθμού
- **\n:** νέα γραμμή, (ή αλλιώς ένας χαρακτήρας "ENTER")

Για την ειδοποίηση του χρήστη κάθε φορά που το εικονικό όργανο εντοπίζει έναν παλμό προερχόμενο από ιονισμό στον θάλαμο BERM τοποθετήθηκε μια δομή για την αναπαραγωγή ενός ηχητικού σήματος, βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.37. Μέσω μιας δομής "Case Structure", κάθε φορά που εντοπίζεται ένας παλμός, τότε αναπαράγεται ο ήχος "beep.wav". Η θέση που βρίσκεται το αρχείο της ηχητικής ειδοποίησης "beep.wav" στον σκληρό δίσκο του Η/Υ, δηλώνεται με τρόπο παρόμοιο με την δήλωση της θέσης των αρχείων καταγραφής των μετρήσεων.

Διαχείριση σφαλμάτων

Οι περισσότερες χρησιμοποιούμενες δομές παρέχουν μεταβλητές εισόδου (ErrorIn) και εξόδου (ErrorOut) για τη διαχείριση τυχόν σφαλμάτων. Οι μεταβλητές αυτές

αξιοποιούνται κατά περίπτωση. Για παράδειγμα σε περίπτωση σφάλματος στην λειτουργία της, η δομή "Threshold Peak Detector" επιστρέφει ως μεταβλητή εξόδου έναν κωδικό, ο οποίος περιγράφει το συγκεκριμένο σφάλμα ("Error Code"). Για την καταγραφή και μελέτη αυτού του σφάλματος χρησιμοποιήθηκε η δομή ελέγχου "Simple Error Handler", η οποία προστίθεται μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Functions/ Programming/ Dialog & User Interface/ Simple Error Handler", βλ. και εικόνα Διαγράμματος 5.38. Με την ίδια δομή ελέγχου διαχειρίζονται τα πιθανά σφάλματα της αλυσίδας δομών που σχετίζεται με την διαχείριση των αρχείων και της αλυσίδας δομών που σχετίζεται την καταγραφή σήματος και την παραγωγή "beep" από την κάρτα ήχου.

5.5.3 Πρόσοψη εικονικού οργάνου

Γενικά

Μετά την ολοκλήρωση της χάραξης του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου του εικονικού οργάνου, δόθηκε μορφή στο περιβάλλον της γραφικής διεπαφής με τον χρήστη, την λεγόμενη Πρόσοψη ή "Front Panel" του εικονικού οργάνου, η οποία σχεδιάζεται στο ομώνυμο παράθυρο. Για τους σκοπούς της παρούσας ΔΕ, η μορφή της Πρόσοψης του εικονικού οργάνου επιλέχθηκε να προσεγγίζει την μορφή των υπαρχόντων παρόμοιων συσκευών καταμέτρησης από πυρηνικά μετρητικά συστήματα τεχνολογίας "Nuclear Instrument Modules (ή NIM)". Με αυτόν τον στόχο, η Πρόσοψη του εικονικού οργάνου σχεδιάσθηκε στα πρότυπα ενός καταμετρητή/απαριθμητή "Counter/Timer" παρόμοιου με αυτούς που κατασκευάζονται από την εταιρία CANBERRA (www.canberra.com). Η ολοκληρωμένη μορφή της Πρόσοψης του εικονικού οργάνου "NTUA_BERM" το οποίο ελέγχει την λειτουργία του θαλάμου BERM φαίνεται στην εικόνα του Διαγράμματος 5.39. Η τοποθέτηση των δομών της Πρόσοψης γίνεται γενικά από την παλέτα "ΔΚ/ Controls" με τρόπο ανάλογο με αυτόν που περιγράφηκε σε προηγούμενες παραγράφους για την παλέτα "Functions" για το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου. Η εμφάνιση της παλέτας αυτής ενεργοποιείται από την διαδρομή "View/ Controls Palette". Η χάραξη του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου έχει ήδη τοποθετήσει μερικές συμβολικές δομές στο παράθυρο "Front Panel", (α) από τις οποίες αναμένεται να τροφοδοτηθεί το Διάγραμμα με τιμές για τις μεταβλητές εισόδου που δεν έχουν αρχικοποιηθεί στο εσωτερικό του και (β) στις οποίες καταλήγουν από το Διάγραμμα τιμές από μεταβλητές εξόδου. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διαμορφώσει κατά την προσωπική του προτίμηση τους χρωματισμούς, τις υφές αλλά και τον τρόπο εμφάνισης των δομών (κουμπιά, ενδείξεις, οθόνες ψηφίων) που ελέγχουν την λειτουργία του εικονικού οργάνου μέσω της Πρόσοψης. Προς χάριν ευκολίας, το LabVIEW προσφέρει την

δυνατότητα εύκολης ταυτοποίησης των δομών ελέγχου μεταξύ του παραθύρου της Πρόσοψης και του παραθύρου του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου. Με διπλό κλικ πάνω σε οποιαδήποτε μορφή του παραθύρου του Διαγράμματος, το LabVIEW επισημαίνει αυτόματα την θέση της αντίστοιχης δομής στο παράθυρο της Πρόσοψης.

Για την δημιουργία του πλαισίου που θα περιέχει την Πρόσοψη του εικονικού οργάνου, δουλεύοντας παράθυρο Front Panel, τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια εργασίας προσχεδιασμένες δομές "Tab Control", από την διαδρομή "ΔΚ/ Controls/ Modern/ Containers/ Tab Control", βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.40. Ένα προσχεδιασμένο "Tab Control" μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στις επιθυμητές διαστάσεις με επιμήκυνση των ακμών του πλαισίου του, ενώ το πλήθος των καρτελών που θα περιέχει, καθώς και λοιπές άλλες ρυθμίσεις του, ορίζονται με δεξί κλικ στους τίτλους κάθε καρτέλας ("Page 1", "Page 2"). Στο πλαίσιο της παρούσας υλοποίησης, χρησιμοποιήθηκαν δύο τέτοιες δομές "Tab Control". Η μία περιέχει τις δομές που κυρίως λαμβάνουν αποτελέσματα από τον καταμετρητή/απαριθμητή, όπως υλοποιείται στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου και η άλλη περιέχει τις ρυθμίσεις της καταγραφής. Με διπλό κλικ στον τίτλο της κάθε δομής, ορίζονται οι αντίστοιχες δομές ως "COUNTER / TIMER" και "SINGLE CHANNEL ANALYZER", βλ. και εικόνα Διαγράμματος 5.41. Οι δομές που μπορούν να εισαχθούν στα "Tab Controls" είναι βασικά Έξοδοι (indicators), ή Είσοδοι (controls). Ο καθορισμός των ιδιοτήτων της εμφάνισής τους γίνεται μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Properties". Αν πρόκειται για οθόνες ψηφίων σημαντική ιδιότητα είναι η μορφοποίηση των απεικονιζόμενων δεδομένων, η οποία ρυθμίζεται από την επιλογή " ΔΚ/ Properties/ Display Format". Για παράδειγμα, η απεικόνιση των δεδομένων χρόνου "ELAPSED TIME" και "PRESET TIME" έγινε σε απόλυτο χρόνο ("Absolute time"), της μορφής "HH:MM:SS". Η απεικόνιση των δεδομένων "COUNTS", ορίσθηκε ως "Automatic Formatting". Η γραμματοσειρά των απεικονιζόμενων δεδομένων για τις οθόνες ψηφίων, το χρώμα αλλά και το μέγεθος της κάθε οθόνης ένδειξης ορίζονται από την γραμμή εργαλείων του παραθύρου της Πρόσοψης, από τις ρυθμίσεις "Text Settings". Για την παρούσα εφαρμογή, επιλέχθηκε η γραμματοσειρά "LCD MONO", η οποία αν και δεν περιέχεται στον φάκελο "FONTS" των γραμματοσειρών του λειτουργικού συστήματος των Windows, μπορεί ελεύθερα να βρεθεί στο Διαδίκτυο και να προστεθεί από τον χρήστη. Το χρώμα των ενδείξεων επιλέχθηκε "Κόκκινο" επίσης από τις ρυθμίσεις "Text Settings". Με το εργαλείο κειμένου της παλέτας "Tools", ο χρήστης μπορεί να εισάγει κείμενο σε οποιοδήποτε σημείο της Πρόσοψης του εικονικού οργάνου. Η μορφή, το μέγεθος και το χρώμα του κειμένου αυτού καθορίζεται, όπως περιγράφηκε και νωρίτερα, από τις ρυθμίσεις "Text Settings" της γραμμής εργαλείων του LabVIEW. Με αυτόν τον τρόπο,

συμπληρώθηκε το όνομα του εικονικού οργάνου "NTUA BERM" στο κάτω δεξιό μέρος της κάθε δομής "Tab Control", αλλά και όπου αλλού κρίνεται απαραίτητο. Το LabVIEW προσφέρει πολλές ακόμα επιλογές αισθητικής επέμβασης στην Πρόσοψη του εικονικού οργάνου, όπως η δημιουργία γραμμικών σχεδίων (πλαίσια, γραμμές, καμπύλες, κύκλοι). Κάνοντας χρήση αυτών των δυνατοτήτων, τοποθετήθηκαν εσωτερικά πλαίσια στις δομές "Tab Controls", μέσω της διαδρομής "Controls/ Modern/ Decorations/ Flat Frame", (βλ. και εικόνα Διαγράμματος 5.42).

Επικοινωνία με το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου

Η πρώτη ρύθμιση η οποία απαιτείται από τον χρήστη μέσω της Πρόσοψης του εικονικού οργάνου είναι η ρύθμιση της κάρτας ήχου από την οποία θα λαμβάνεται η δειγματοληψία. Ως κάρτα δειγματοληψίας μπορεί να οριστεί είτε η πρωτεύουσα κάρτα του συστήματος, είτε οποιαδήποτε άλλη δευτερεύουσα. Για τους λόγους τους οποίους εξηγήθηκε και σε προηγούμενο τμήμα του κειμένου, η πρωτεύουσα κάρτα του συστήματος δεν ενδείκνυται για αυτήν την χρήση. Για να παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να ορίζει την κάρτα, προστέθηκε στη δομή "Tab Control" "SINGLE CHANNEL ANALYZER" μια δομή "Radio Buttons", από την διαδρομή "ΔΚ/ Controls/ Modern/ Boolean/ Radio Buttons". Η δομή αυτή συνδέθηκε με την μεταβλητή εισόδου "Device ID" της δομής "Sound Input Configure.vi" (βλ. και την εικόνα του Διαγράμματος 5.29), στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου. Η πρώτη επιλογή, "Radio Selection 1" η οποία αντιστοιχεί στην τιμή "0", μετονομάστηκε με διπλό κλικ σε "Primary Sound Card", ενώ παρομοίως, η "Radio Selection 2" (τιμή "1") μετονομάστηκε σε "Secondary Sound Card". Έχοντας υπόψιν τις υπάρχουσες εφαρμογές καταμετρητών, τα κουμπιά των Radio Buttons, αντικαθιστούνται από κουμπιά της μορφής "Push Buttons", με "ΔΚ / Replace/ Classic/ Boolean/ Square Push Button", τα οποία χρωματίζονται κόκκινα - γκρι ανάλογα με το αν είναι ενεργοποιημένα (Push ON) ή απενεργοποιημένα (Push OFF) αντίστοιχα.

Η δομή "Indicator" τύπου οθόνης ψηφίων μορφής "HH:MM:SS" που αναφέρθηκε τοποθετήθηκε στη δομή "Tab Control" "COUNTER / TIMER" της Πρόσοψης του εικονικού οργάνου, μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Controls/" και συνδέθηκε στη μεταβλητή εξόδου "Elapsed Time (s)" του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου..

Στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου η συνθήκη "Time has Elapsed" ή ένα πιθανό σφάλμα συνδέονται με τη δομή τερματισμού (κόκκινο "0" στα δεξιά) του επαναληπτικού βρόγχου "While Loop". Λήφθηκε επιπλέον μέριμνα έτσι ώστε να είναι δυνατόν να ελεγχθεί ο τερματισμός από τον χρήστη. Αυτό πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τελεστές σύγκρισης άλγεβρας Boole, τύπου "OR" ("ΔΚ/ Functions/ Programming/ Boolean/ OR"). Έτσι, οι συνθήκες οι οποίες μπορούν να τερματίσουν την εκτέλεση του εικονικού οργάνου είναι ή η πλήρωση του χρόνου-

στόχου, ή ανεύρεση σφάλματος στην ρύθμιση της κάρτας ήχου, ή η παρέμβαση του χρήστη μέσω ενός εικονικού κουμπιού "STOP" από την Πρόσοψη. Αν έστω και μία συνθήκη από αυτές είναι ΑΛΗΘΗΣ, τότε η εκτέλεση σταματάει. Το κουμπί τερματισμού "STOP", ως εργαλείο διεπαφής με τον χρήστη, προστέθηκε στη δομή "Tab Control" "COUNTER / TIMER" της Πρόσοψης, από την διαδρομή "ΔΚ/ Controls/ Express/ Buttons/ STOP". Το κουμπί συνδέεται με την συνθήκη τερματισμού του επαναληπτικού βρόγχου "WHILE" του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου (βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.31). Όπως και σε κάθε άλλη δομή ελέγχου της Πρόσοψης, οι διαστάσεις ενός τέτοιου κουμπιού, ο χρωματισμός του αλλά και η υφή του ("style") μπορούν να επιλεγθούν κατά την προτίμηση του χρήστη. Αν η default μορφή του κουμπιού δεν είναι επιθυμητή, τότε μπορεί να αντικατασταθεί με ένα αντίστοιχο κουμπί οποιασδήποτε άλλης υφής, από τα παρεχόμενα "styles" του LabVIEW, με δεξί κλικ και επιλογή της ρύθμισης "ΔΚ/ Replace" (".../ Modern, Classic, Express" styles. Στην παρούσα υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε ένα στρογγυλό κουμπί τερματισμού από την διαδρομή "ΔΚ/ Controls/ Classic/ Round Stop Button". Με την επιλογή "ΔΚ/ Properties", ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στις ρυθμίσεις του κουμπιού και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ρυθμίσει το χρώμα της ένδειξης ON/OFF, να ρυθμίσει την "μηχανική λειτουργία" (ενεργοποίηση με την πίεση, ενεργοποίηση με την απελευθέρωση).

Κρίθηκε χρήσιμο ότι πρέπει να ανάβει ένα LED ως ένδειξη του εντοπισμού ενός ιονισμού στον θάλαμο BERM του ανιχνευτή. Από το Διάγραμμα Δομών Ελέγχου παρέχεται η τιμή ΑΛΗΘΗΣ (λογικό "1") όταν ικανοποιείται η συνθήκη "Has a PEAK been detected?". Η συνθήκη αυτή, οδηγεί μια φωτεινή ένδειξη τύπου "κόκκινου LED", για να υποδείξει στον χρήστη τον ιονισμό. Ένα "LED Indicator" τοποθετήθηκε αντίστοιχα στη δομή "Tab Control" "COUNTER / TIMER" της Πρόσοψης του εικονικού οργάνου, μέσω της διαδρομής "ΔΚ/ Controls/ Express/ LEDs". Οι χαρακτηριστικές του ιδιότητες (χρώμα φωτεινής ένδειξης, μέγεθος) επιλέχθηκαν από το μενού "ΔΚ/ Properties", και τοποθετήθηκε στο επιθυμητό σημείο με επιλογή και σύρσιμο μέσω του ποντικιού του Η/Υ. Από το μενού "ΔΚ/ Properties", στην καρτέλα "Appearance", βλ. και εικόνα του Διαγράμματος 5.43. Επιλέχθηκε η απόκρυψη της εξ'ορισμού (default) ονομασίας του LED, καθώς επίσης και τα χρώματα του.

Σύμφωνα με όσα έχουν περιγραφεί στην ενότητα που ασχολείται με την εισαγωγή της δομής "Threshold Peak Detector" στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου, η ρύθμιση του κατωφλιού αποδοχής-απόρριψης μίας κορυφής είναι η μεταβλητή Threshold που εισάγεται από τον χρήστη. Η τιμή της Threshold ρυθμίζεται από τον χρήστη από την Πρόσοψη στη δομή "Tab Control" "SINGLE CHANNEL ANALYZER" μέσω

μιας δομής "Control" τύπου περιστροφικού ποτενσιόμετρου, ενώ ταυτόχρονα απεικονίζεται και σε μία δομή "Indicator" τύπου κατακόρυφης στήλης LED. Από τις ιδιότητες της κάθε δομής ("ΔΚ/ Properties" ή / "Replace") επιλέγεται η μορφή, το χρώμα, η βαθμονόμηση αλλά και οι διαστάσεις και της γραφικής ένδειξης της τιμής της Threshold. Με δεξί κλικ του ποντικιού πάνω στην δομή του "Control", ορίζεται η εξ'ορισμού τιμή της "Threshold" (διαδρομή "ΔΚ/ Data Operations/ Make Current Value Default") σε 0.5.

Κάτω από την ένδειξη των καταμετρηθέντων παλμών ("COUNTS") τοποθετήθηκε το κουμπί "SOUND" (από την διαδρομή "ΔΚ/ Controls/ Classic/ Horizontal Slide Switch", και χρωματίστηκε κόκκινο από τις ρυθμίσεις του μενού "ΔΚ/ Properties"). Το κουμπί αυτό ενεργοποιεί και απενεργοποιεί την ηχητική ειδοποίηση για τον εντοπισμό παλμού από ιονισμό στον θάλαμο BERM, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Στο Διάγραμμα Δομών Ελέγχου διατίθεται για το σκοπό αυτό ένας τελεστής άλγεβρας Bool τύπου "AND" (από την διαδρομή ("ΔΚ/ Functions/ Programming/ Boolean/ AND"), που σημαίνει ότι η ηχητική ειδοποίηση θα αναπαράγεται μόνο όταν εντοπίζεται παλμός και ταυτόχρονα το κουμπί "Sound" είναι ενεργοποιημένο.

5.6 Σχόλια - Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίον καταμετρώνται και καταγράφονται οι παλμοί που προέρχονται από ιονισμούς εξαιτίας της αλληλεπίδρασης -α σωματιδίων τα οποία προέρχονται από τις διασπάσεις Ραδονίου και των θυγατρικών του, στον θάλαμο ιονισμού του ανιχνευτικού συστήματος BERM. Εξετάσθηκαν με λεπτομέρεια ο τρόπος που επιλέχθηκε για την καταμέτρηση, παρουσιάζεται η συγκρότησή του από την άποψη του υλικού και του λογισμικού. Οι αναγκαίες δοκιμές ελέγχου καλής λειτουργίας σύμφωνα με τις απαιτήσεις, γίνονται στο επόμενο 6^ο Κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας. Πρέπει να τονισθεί σε αυτό το σημείο, ότι η εκτενείς αναφορές που έγιναν στον τρόπο χρήσης του λογισμικού LabVIEW, δεν καλύπτουν όλες τις λεπτομέρειες της υλοποίησης του Διαγράμματος Δομών Ελέγχου και της Πρόσοψης, διότι το κείμενο με τις αντίστοιχες περιγραφές δεν μπορεί να είναι πλήρες εγχειρίδιο εφαρμογών του LabVIEW. Ο χρήστης του συγκεκριμένου εικονικού οργάνου θα πρέπει να μελετήσει αρκετά για να κατανοήσει μια σειρά από λεπτά σημεία που υπάρχουν σε αυτού του τύπου τον συμβολικό προγραμματισμό. Δυστυχώς, η έκδοση του LabVIEW που ήταν διαθέσιμη (LabVIEW 2009, Full Edition, Service Pack 1) δεν επέτρεπε την παραγωγή εκτελέσιμου σε περιβάλλον Λειτουργικού Συστήματος MS Windows XP, ώστε το εικονικό όργανο της υπόψιν εφαρμογής να μπορεί να εκτελείται σε Η/Υ χωρίς σε αυτόν να υπάρχει

εγκατεστημένο LabVIEW. Αυτή η δυνατότητα είναι διαθέσιμη σε πιο προχωρημένες εκδόσεις του λογισμικού LabVIEW (δηλαδή τις LabVIEW Professional Edition και LabVIEW Developer's Suite).

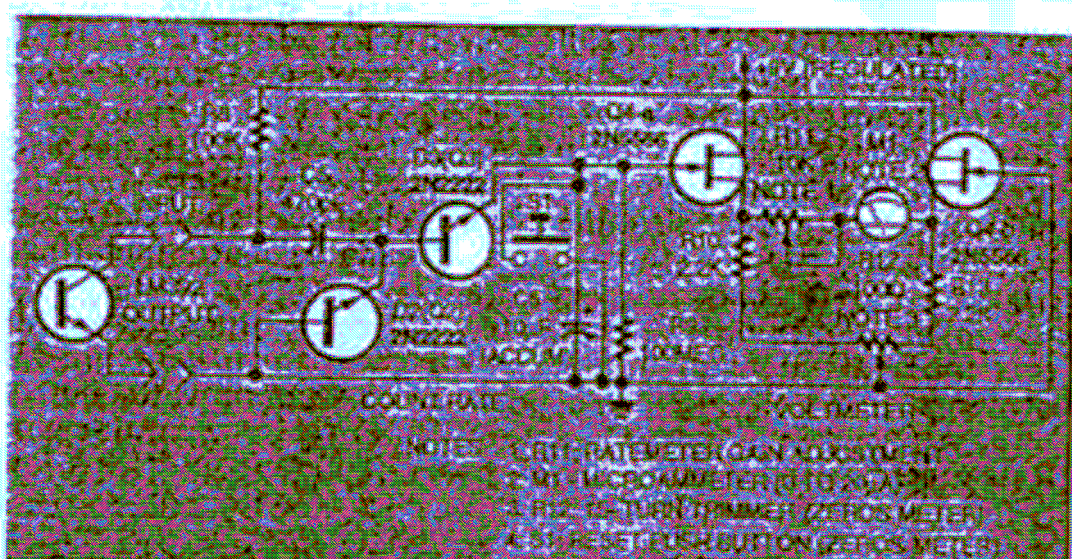
ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΟΥ 5ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

PARTS LIST	
Figure 6 ratemeter circuit.	
All resistors are 1/4-watt, 5%.	
R8—	100,000 ohms, carbon composition
R9—	100,000,000 ohms, carbon composition
R10, R13—	2,200 ohms, carbon composition
R11—	5000 to 10,000, 15-turn trimmer
R12—	100 ohms, 15-turn trimmer
Capacitors	
C5—	470 pF silvered mica, selected (see text)
C6—	10 μ F, 15 volts, aluminum electrolytic, radial-leaded, value tested (see text)
Semiconductors	
Q2—	2N5566 dual JFET
D2, D3—	diodes formed from 2N2222 transistors
Other components	
M1—	0 to 20 μ A analog moving-coil panel meter (see text)

Πίνακας 5.1

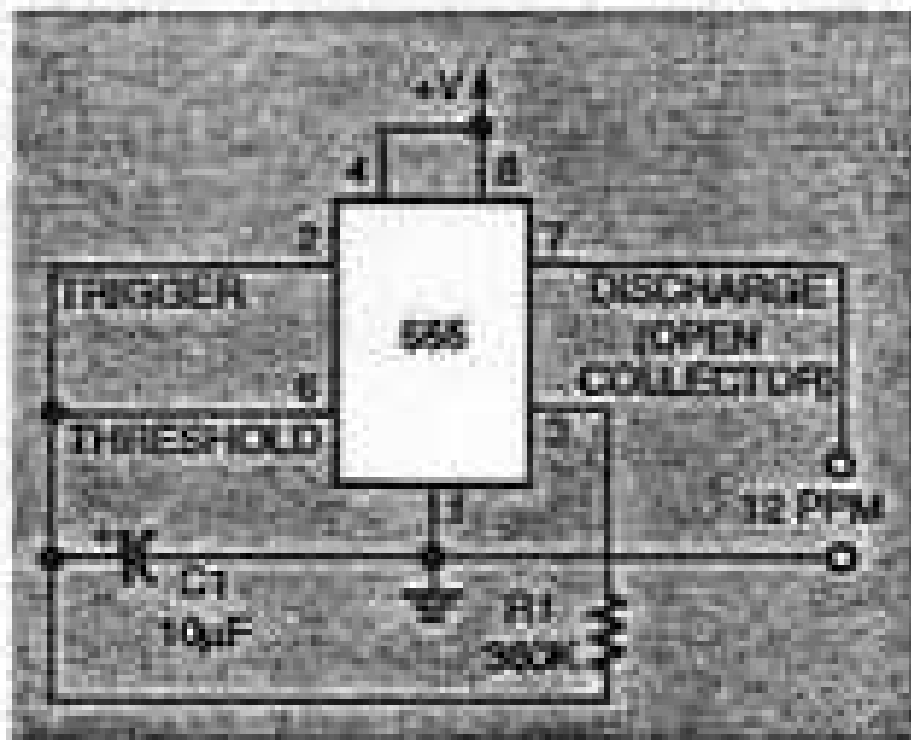
Κατάλογος υλικών καταμετρητή παλμών (Neher, 1994b)

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ 5ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



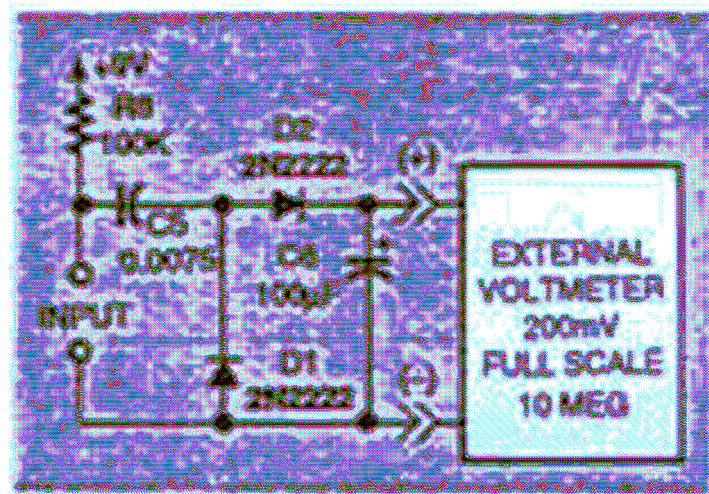
Διάγραμμα 5.1

Καταγραφή παλμών σύμφωνα με Neher (1994b)



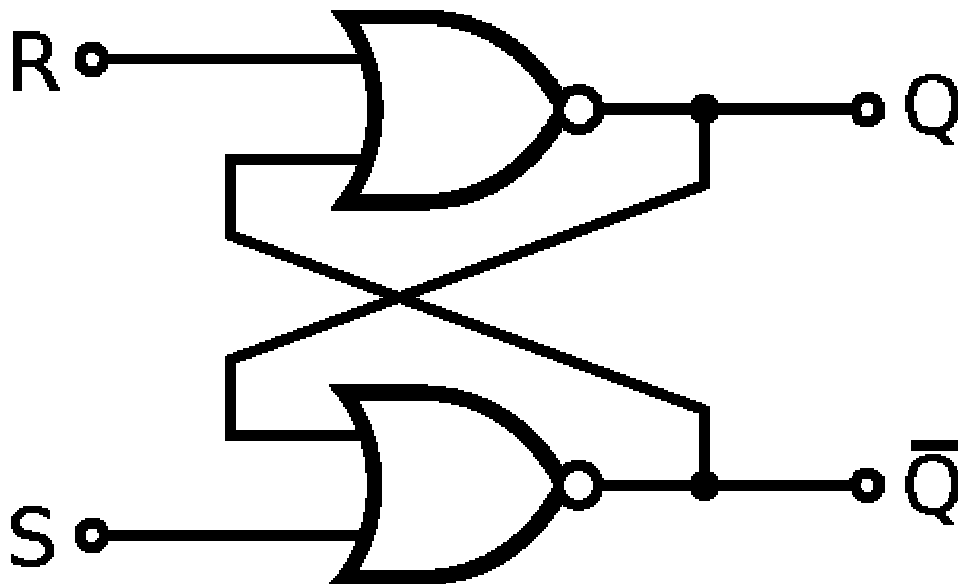
Διάγραμμα 5.2

Κύκλωμα βαθμονόμησης καταγραφικού παλμών (Neher, 1994b)



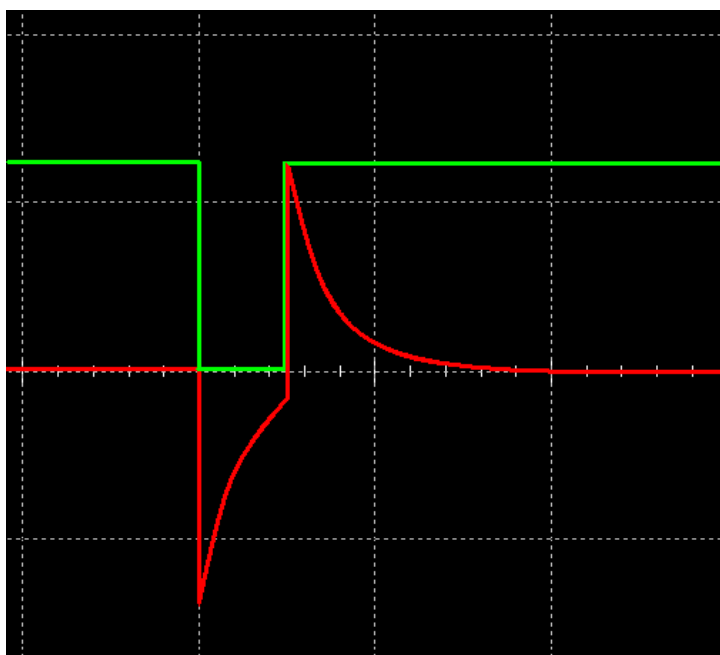
Διάγραμμα 5.3

Εναλλακτικό κύκλωμα καταγραφής παλμών με βολτόμετρο (Neher, 1994b)



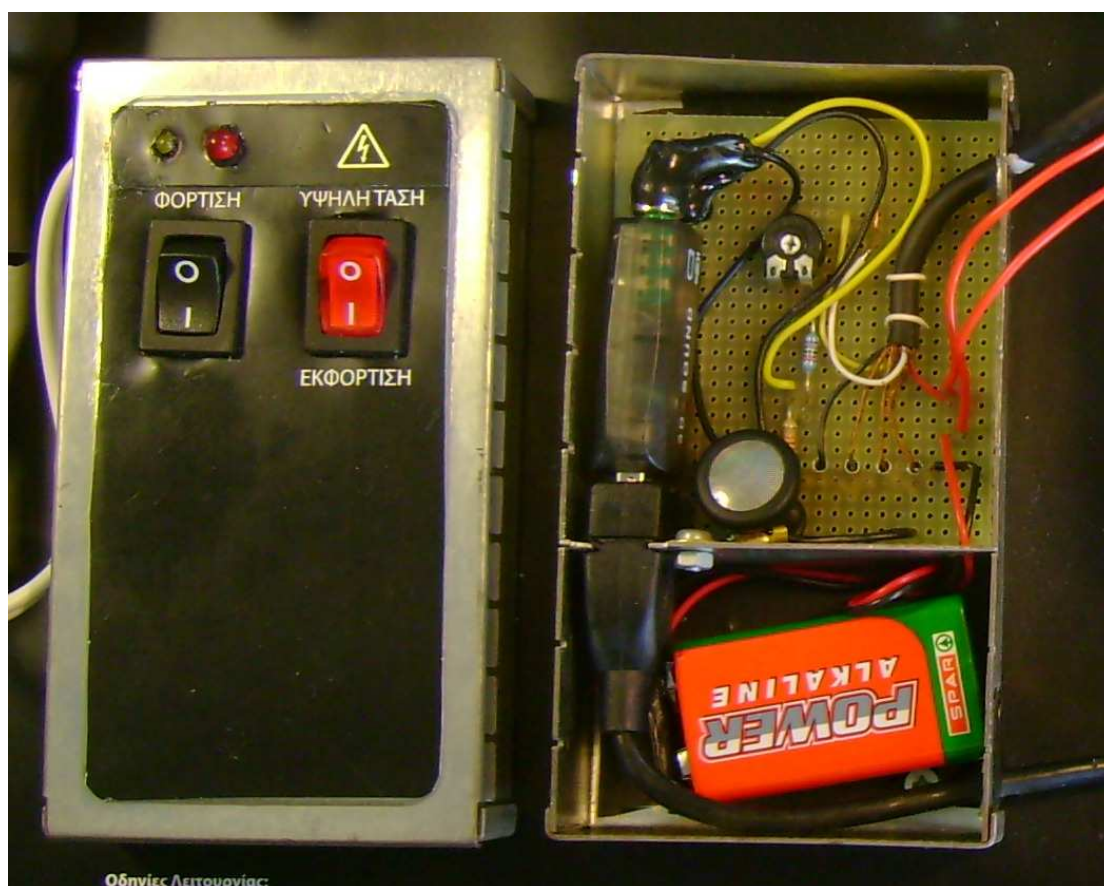
Διάγραμμα 5.4

Κύκλωμα RS Flip-Flop για καταγραφή παλμών μέσω σειριακής θύρας H/Y



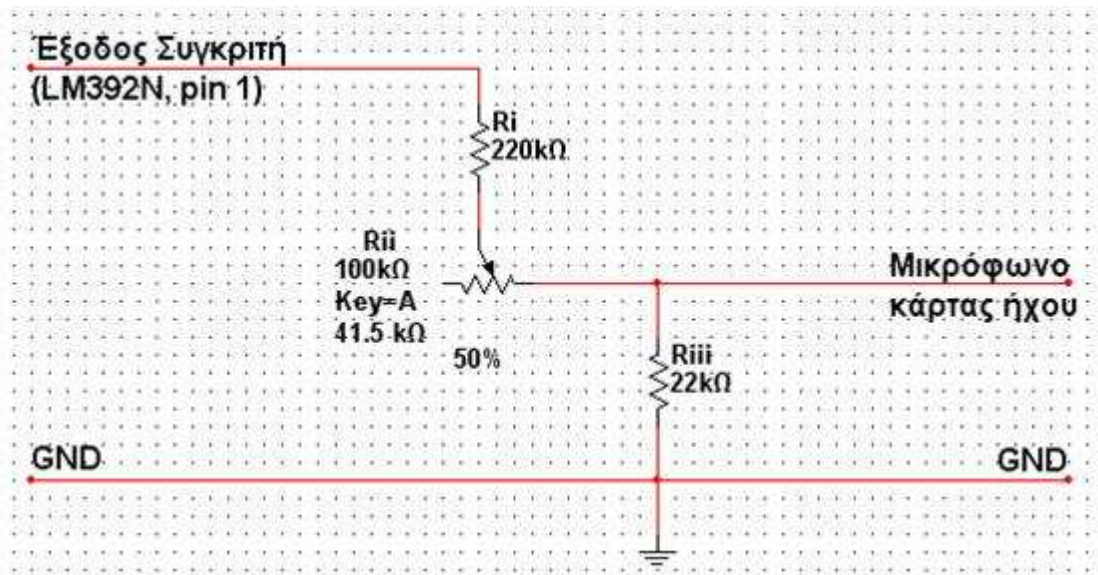
Διάγραμμα 5.5

Παλμός από Συγκριτή και μετασχηματισμός λόγω πυκνωτή σύζευξης AC



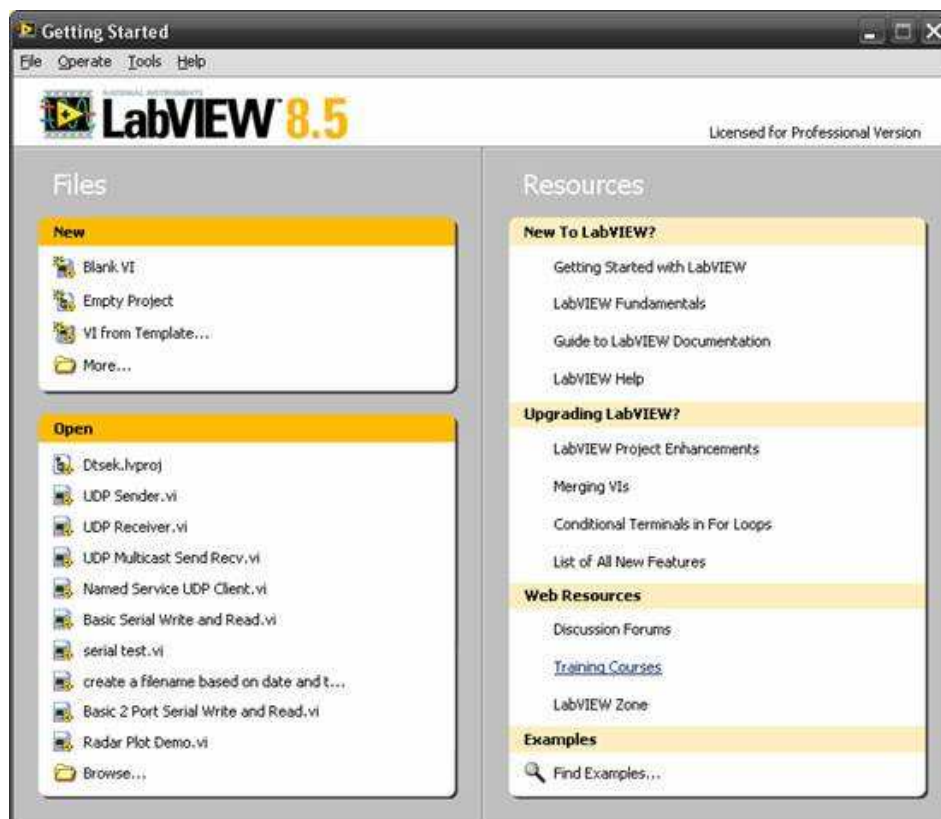
Διάγραμμα 5.6

Περιεχόμενα δεξιού κουτιού Οριστικού Πρωτοτύπου NTUA-BERM



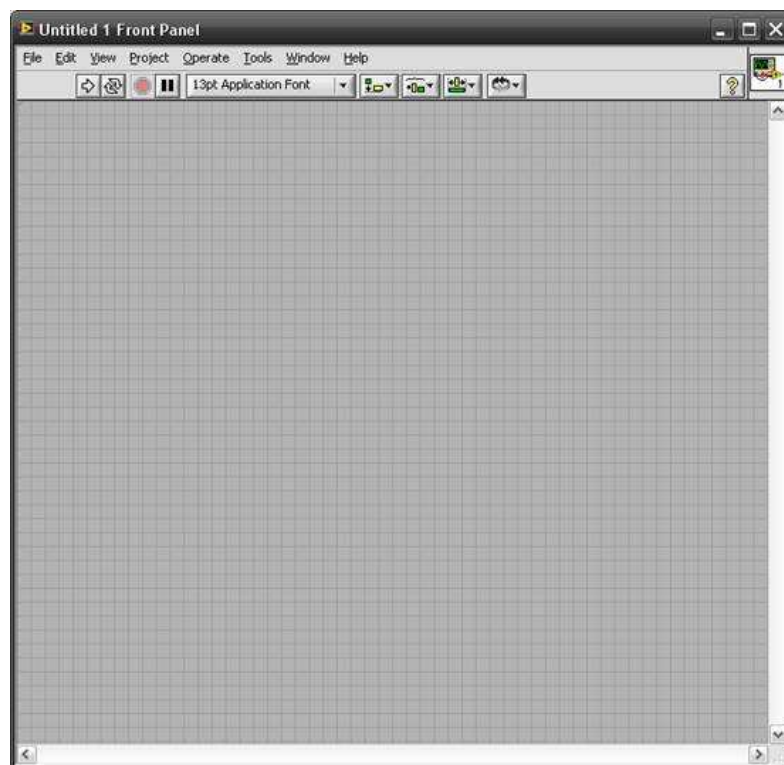
Διάγραμμα 5.7

Διαιρέτης τάσης σήματος από την έξοδο του Συγκριτή προς την είσοδο MIC-IN της USB κάρτας ήχου

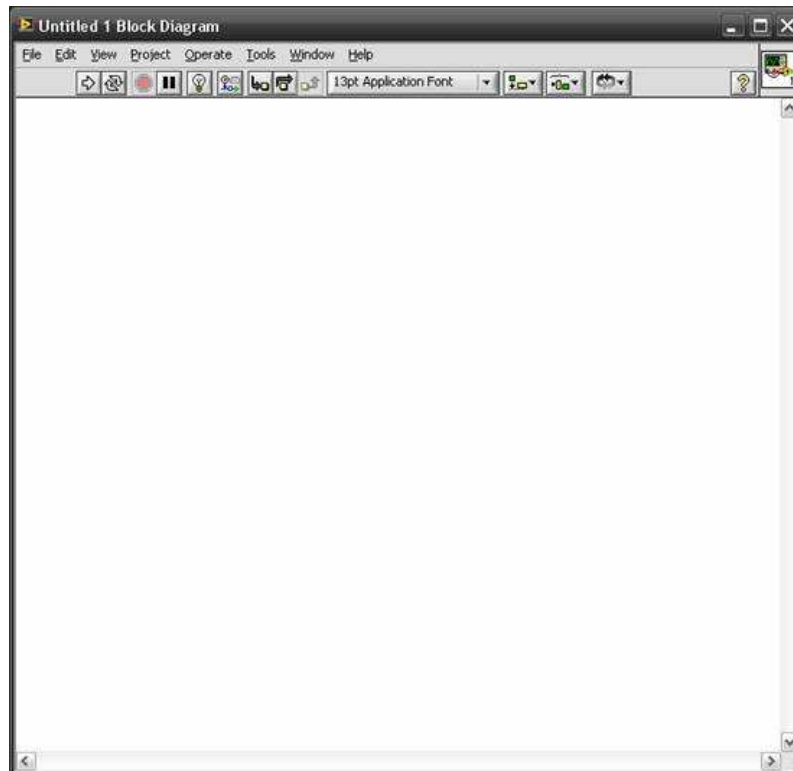


Διάγραμμα 5.8

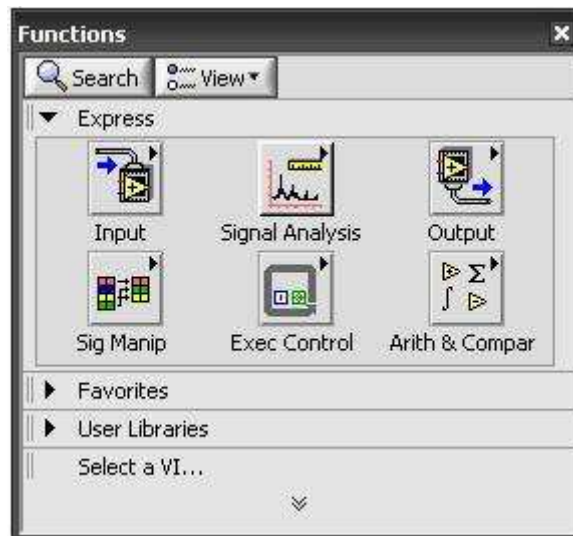
Αρχική καρτέλα LabVIEW



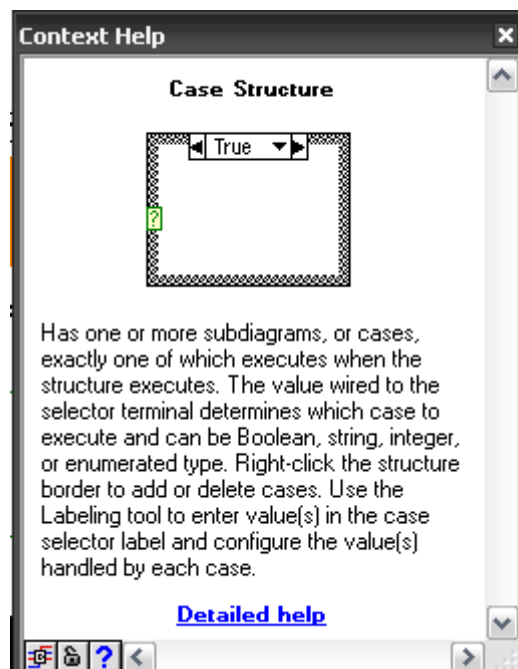
Διάγραμμα 5.9
Παράθυρο "Untitled1 Front Panel"



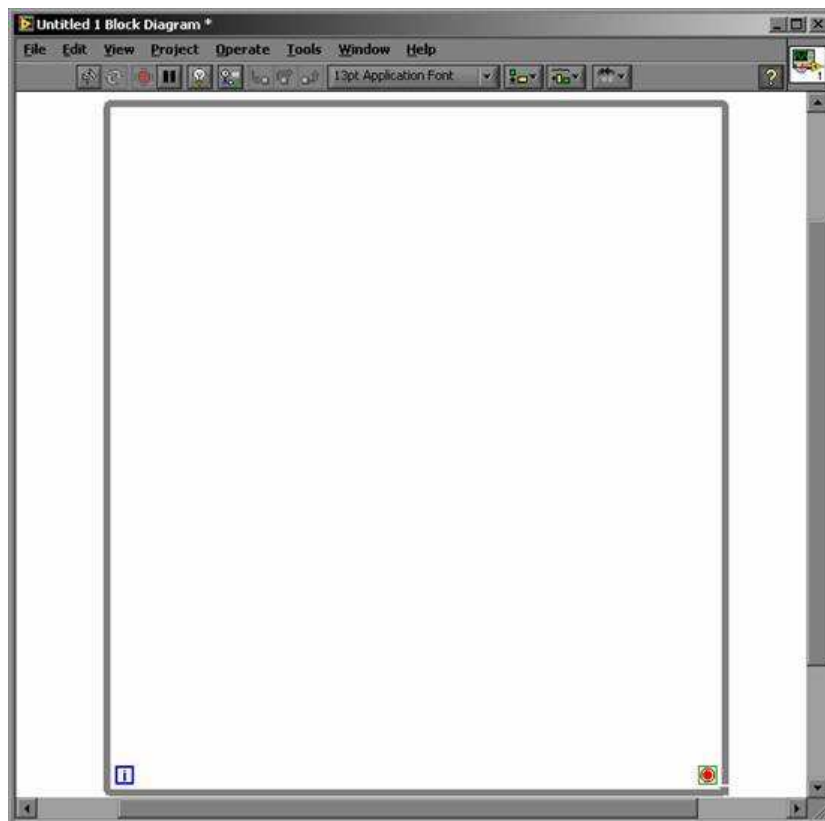
Διάγραμμα 5.10
Παράθυρο "Untitled1 Block Diagram"



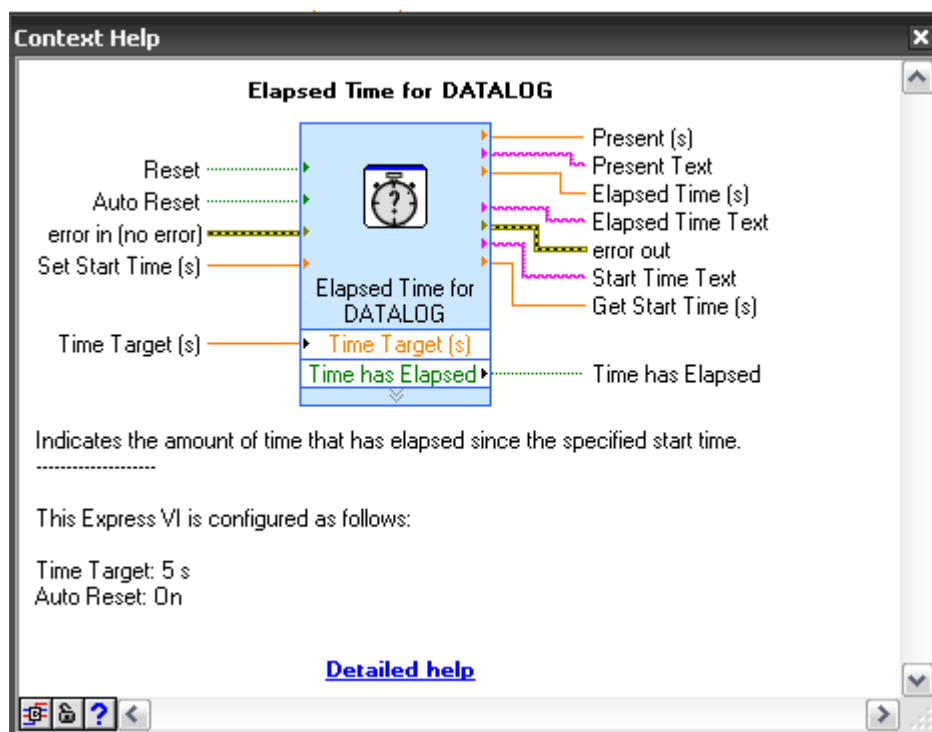
Διάγραμμα 5.11
Παλέτα Functions



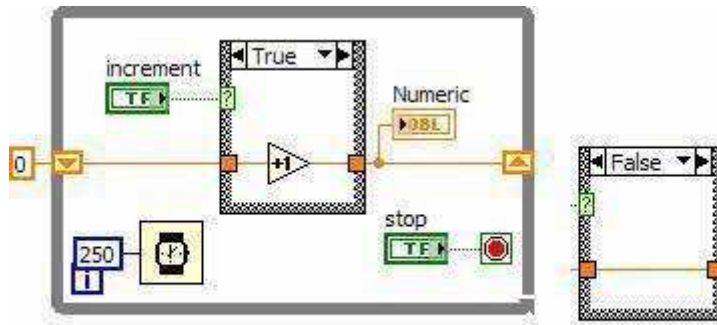
Διάγραμμα 5.12
Δομή συνθήκης "Case Structure"



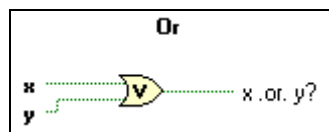
Διάγραμμα 5.13
Δομή επαναλήψεων "While Loop"



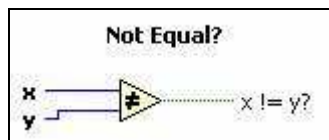
Διάγραμμα 5.14
Δομή χρονομέτρησης "Elapsed Time"



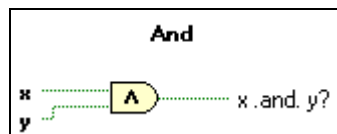
Διάγραμμα 5.15
Δομή "Shift Register" ως καταμετρητής



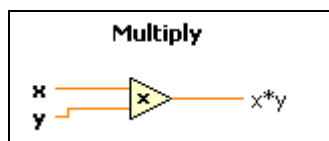
Διάγραμμα 5.16
Δομή Σύγκρισης "OR"



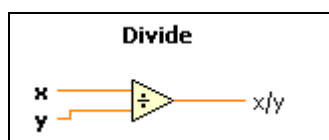
Διάγραμμα 5.17
Δομή Σύγκρισης "NOT EQUAL"



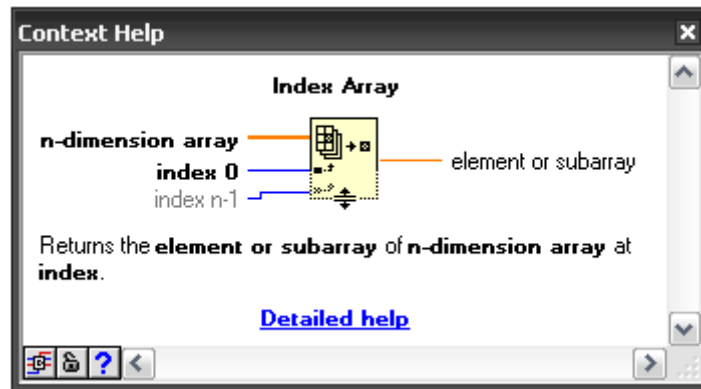
Διάγραμμα 5.18
Δομή Σύγκρισης "AND"



Διάγραμμα 5.19
Δομή Τελεστή Πολλαπλασιασμού

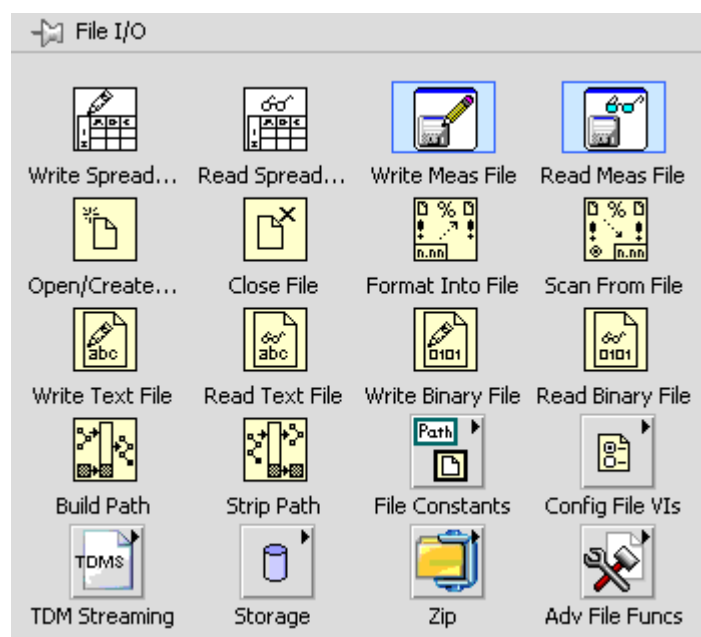


Διάγραμμα 5.20
Δομή Τελεστή Διαιρέσης



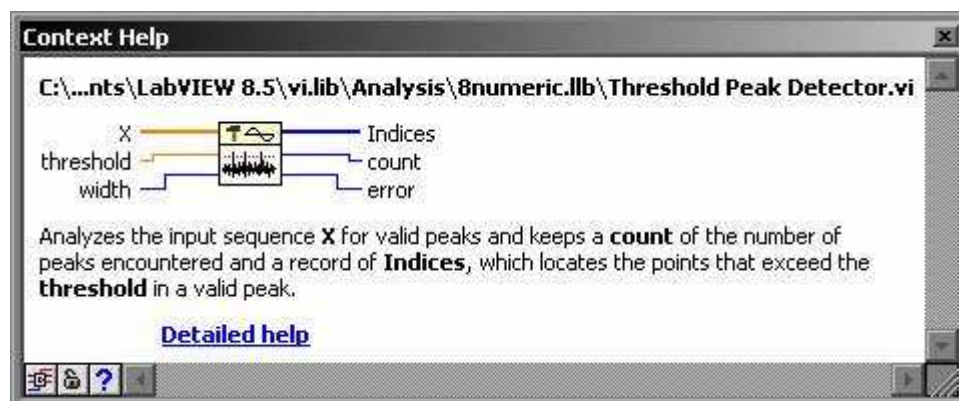
Διάγραμμα 5.21

Δομή επεξεργασίας πινάκων "Index Array"



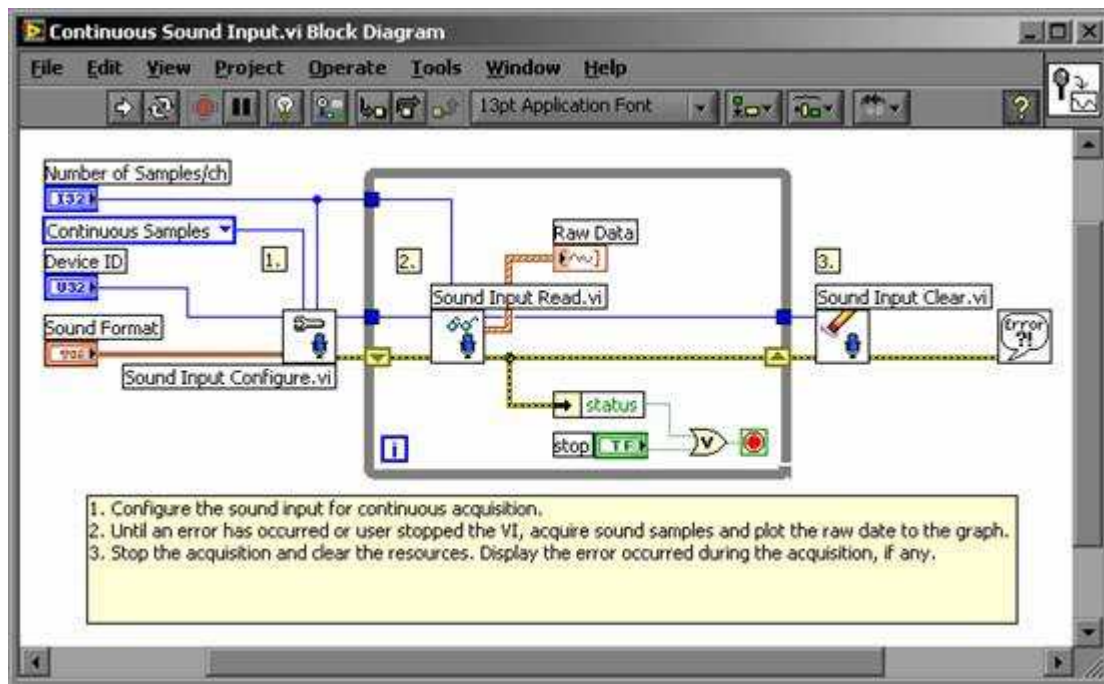
Διάγραμμα 5.22

Δομές διαχείρισης αρχείων "File I/O"



Διάγραμμα 5.23

Δομή ανίχνευσης κορυφών κυματομορφής "Threshold Peak Detector"



Διάγραμμα 5.24

Διάγραμμα Δομών Ελέγχου παραδείγματος "Continuous Sound Input".



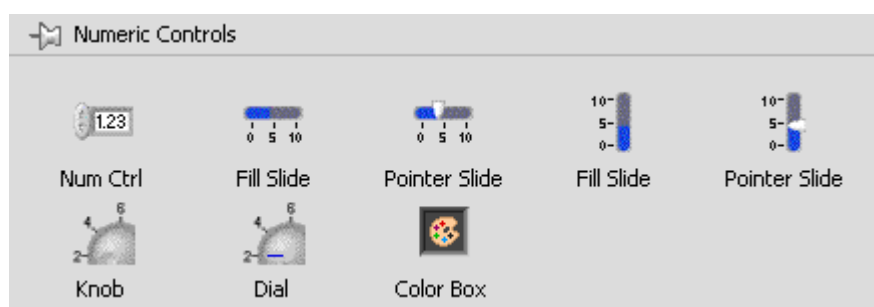
Διάγραμμα 5.25

Επιλογές ενδείξεων "Numeric Indicators"



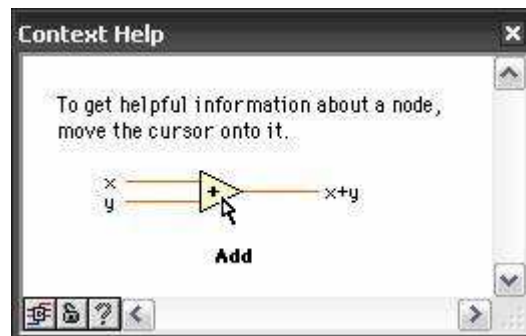
Διάγραμμα 5.26

Δομές Διαγράμματος Ελέγχου και Πρόσοψης ενός κόκκινου LED

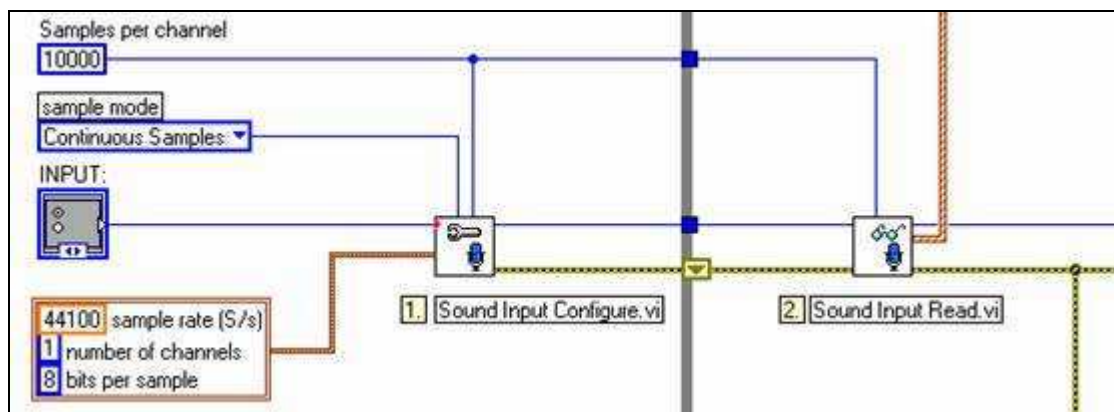


Διάγραμμα 5.27

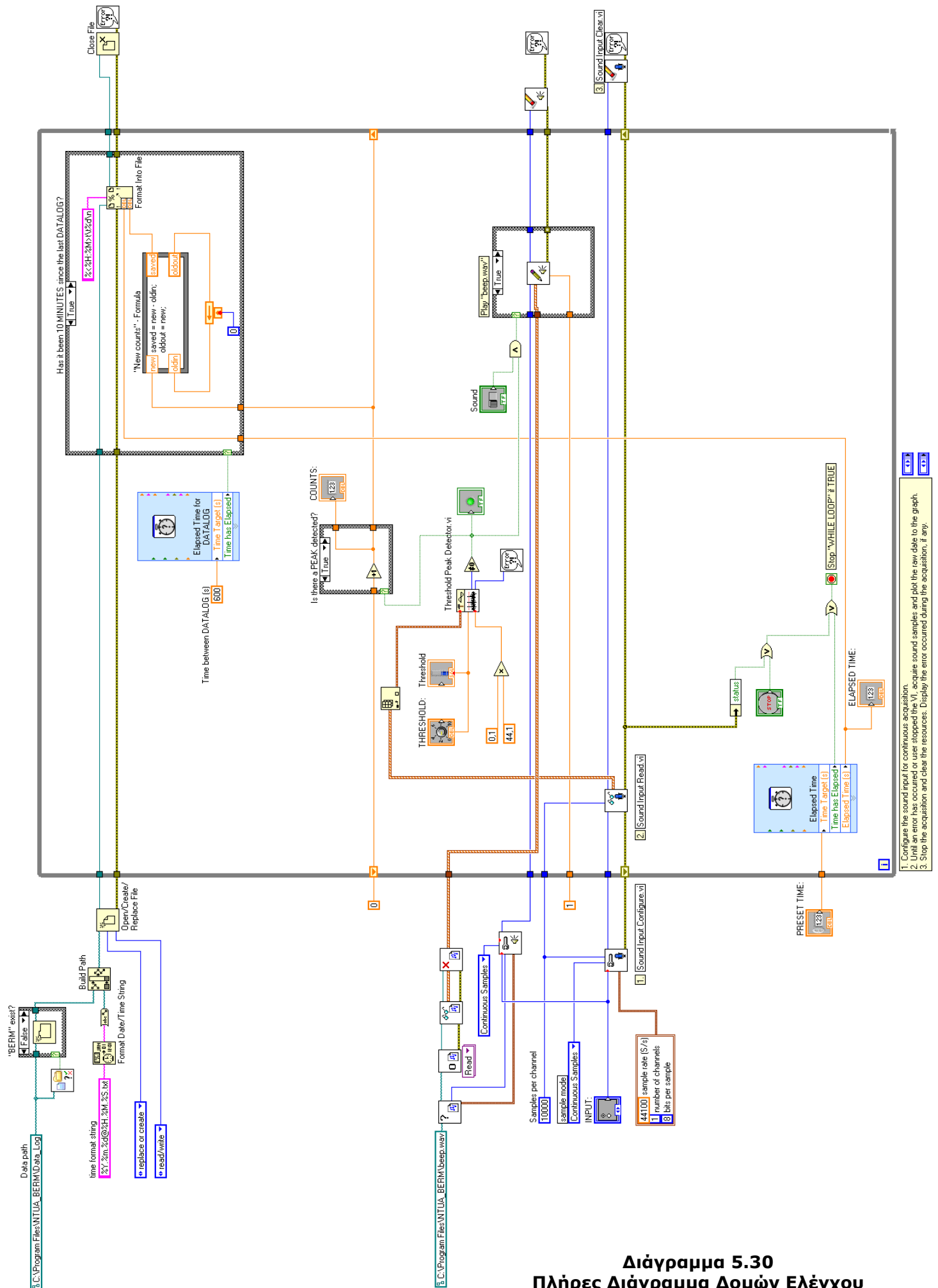
Επιλογές Δομών "Numeric Controls"

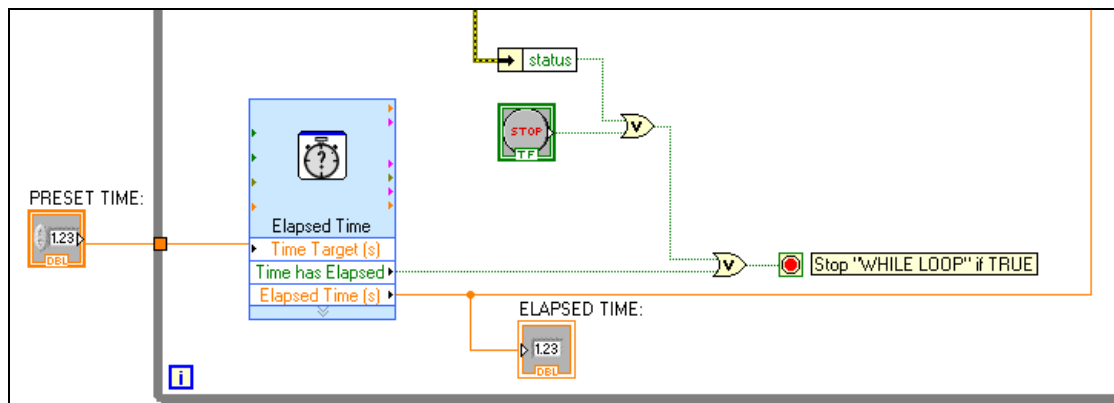


Διάγραμμα 5.28
Παράθυρο "Context Help"



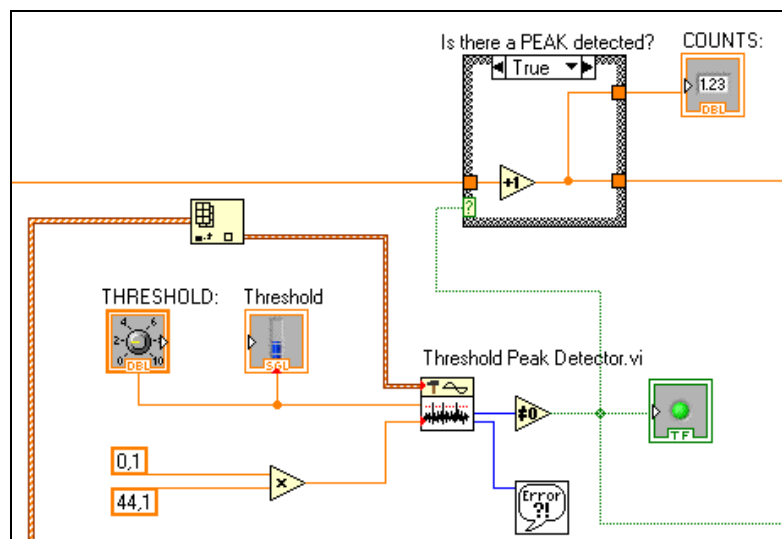
Διάγραμμα 5.29
Ρυθμίσεις κάρτας ήχου, αναπτύσσοντας το παράδειγμα
Continuous Sound Input





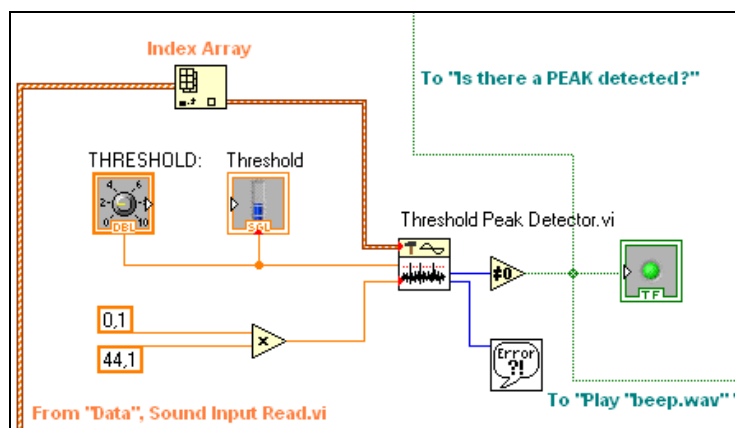
Διάγραμμα 5.31

Χρήση Δομής Χρονομέτρησης "Elapsed Time" για έλεγχο διάρκειας μετρήσεων



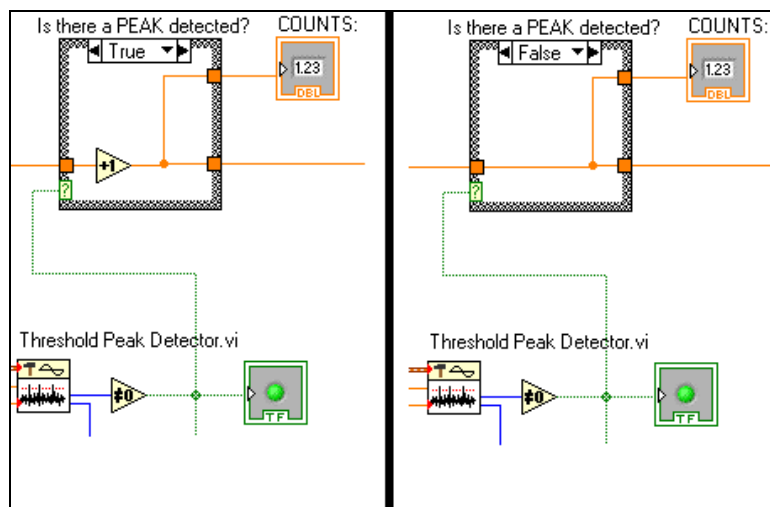
Διάγραμμα 5.32

Εφαρμογή του παραδείγματος "Threshold Peak Detector"

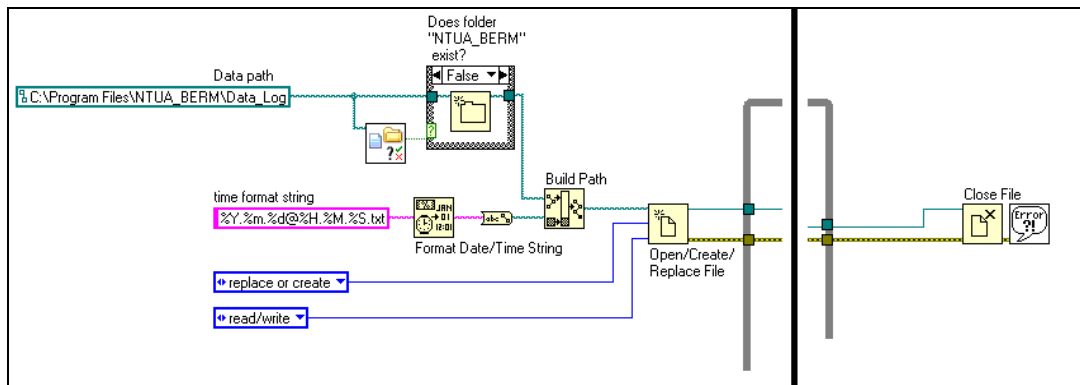


Διάγραμμα 5.33

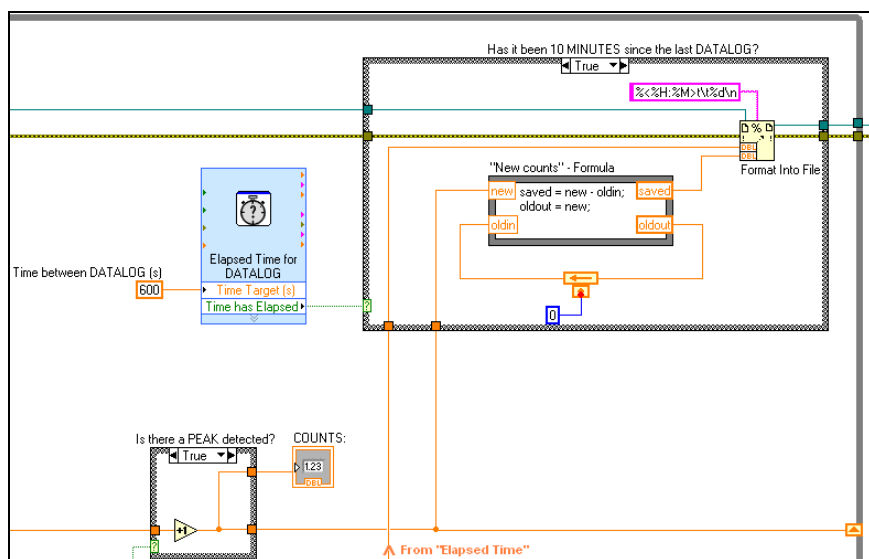
Δομή "Index Array"



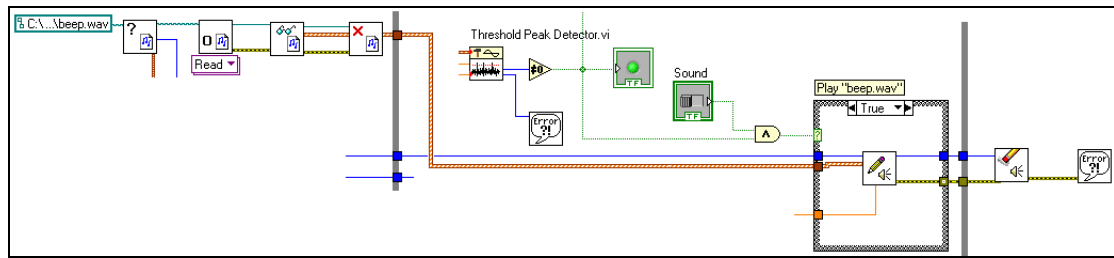
Διάγραμμα 5.34
Συνθήκη εντοπισμού κορυφής



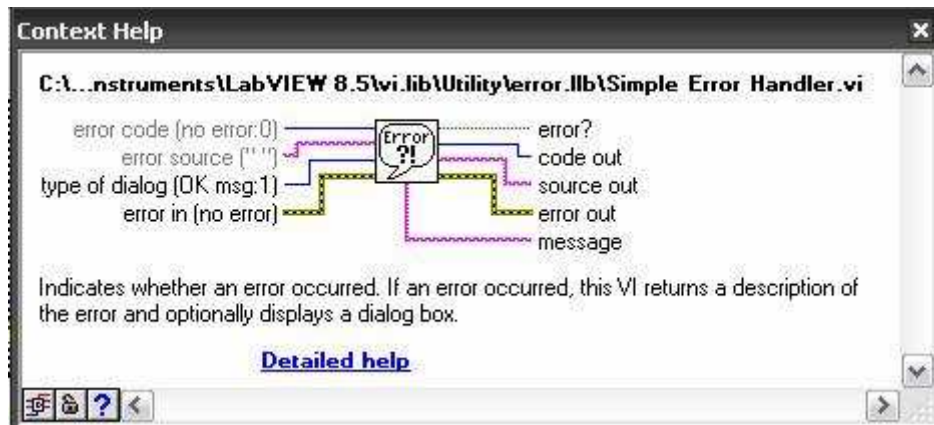
Διάγραμμα 5.35
Δημιουργία/Άνοιγμα αρχείου αποθήκευσης μετρήσεων



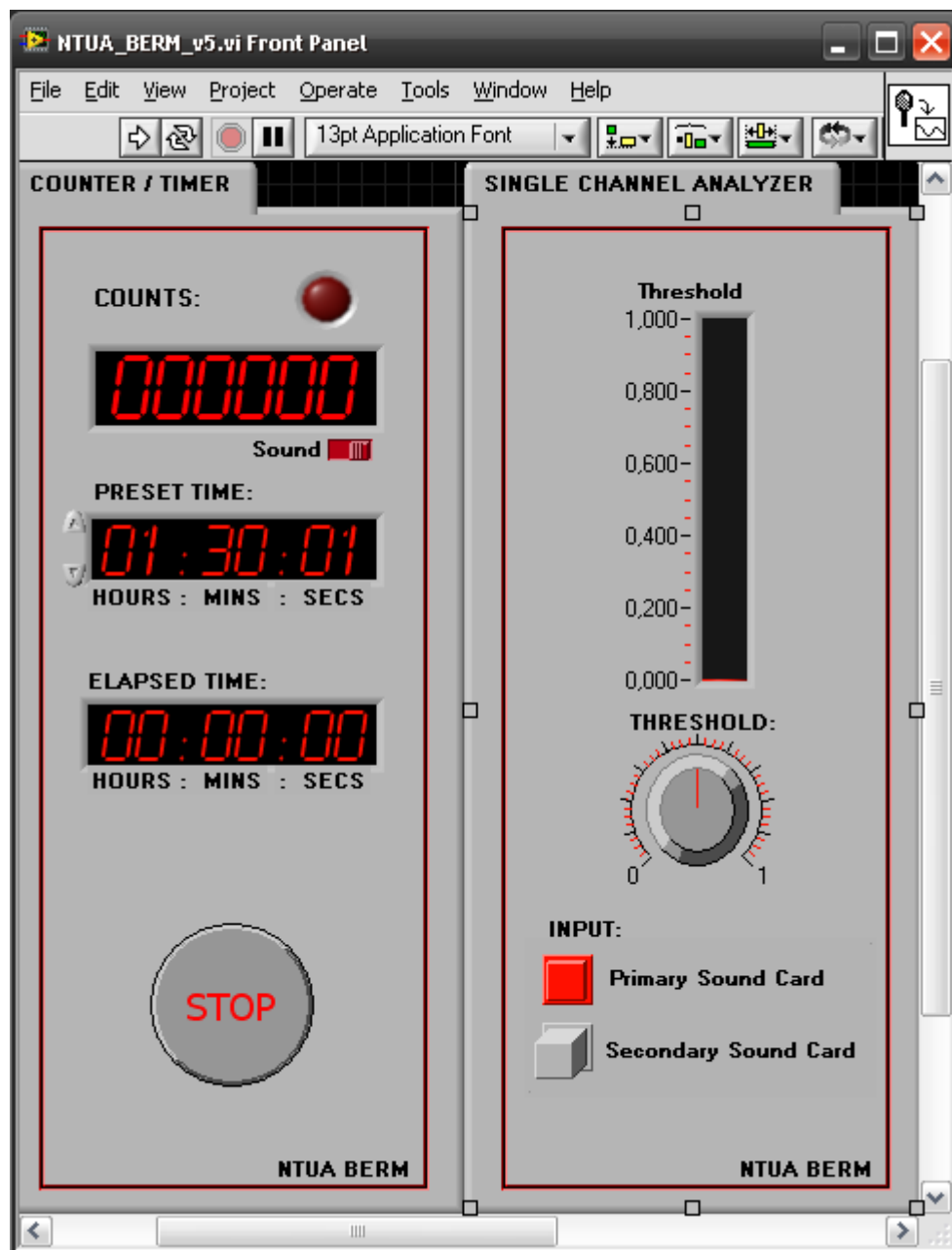
Διάγραμμα 5.36
Καταγραφή αριθμού κορυφών ανά 10 λεπτά



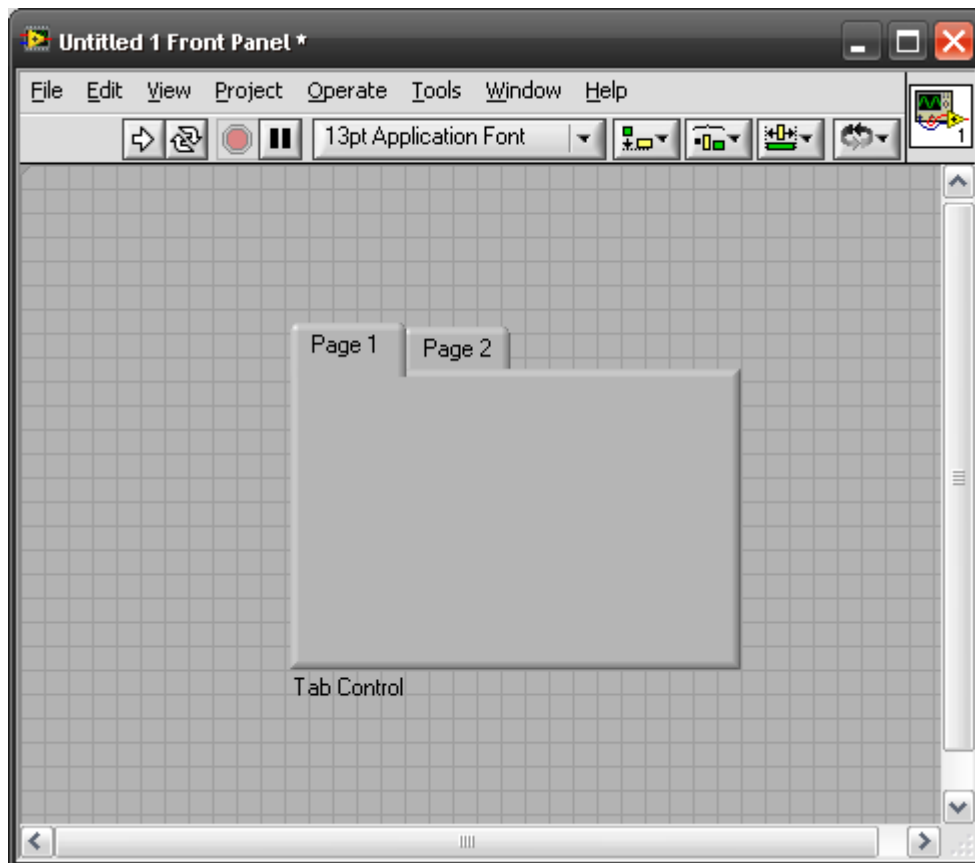
Διάγραμμα 5.37
Αναπαραγωγή ηχητικής ειδοποίησης



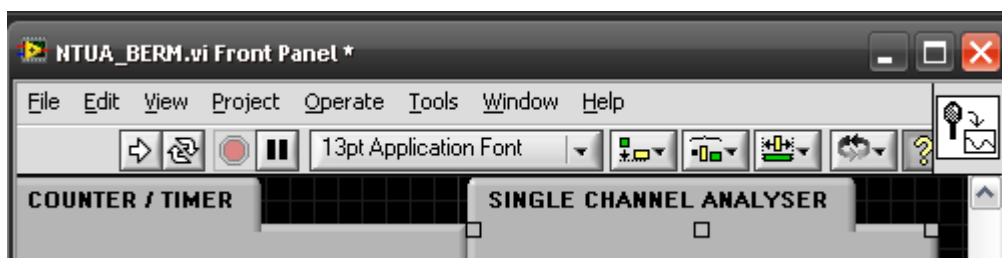
Διάγραμμα 5.38
"Simple Error Handler"



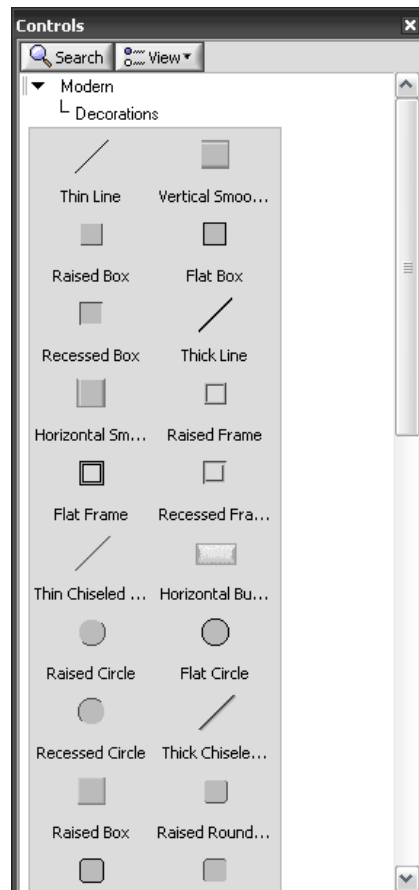
Διάγραμμα 5.39
Ολοκληρωμένη μορφή Πρόσοψης "NTUA_BERM"



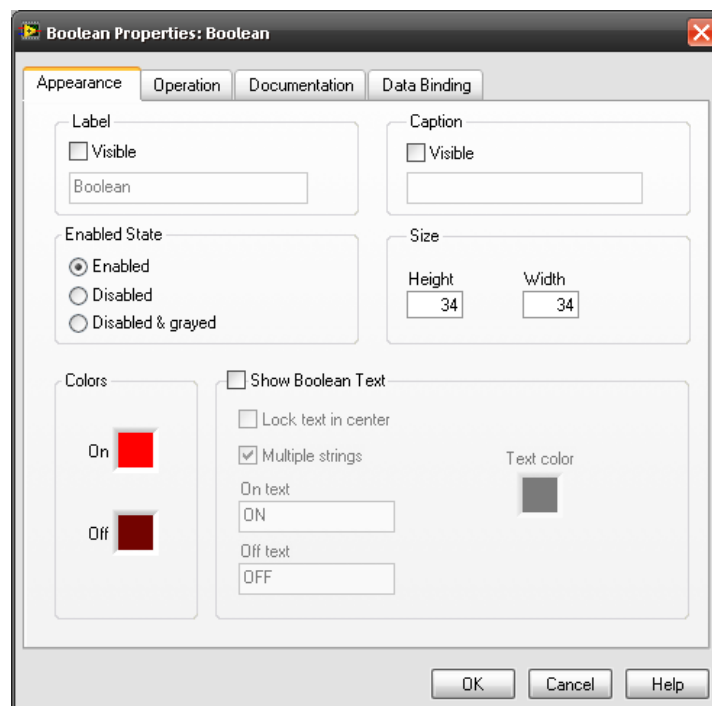
Διάγραμμα 5.40
"Tab Control" στην Πρόσοψη



Διάγραμμα 5.41
"COUNTER / TIMER" και "SINGLE CHANNEL ANALYSER"



Διάγραμμα 5.42
Επιλογής διαδρομής "Decorations"



Διάγραμμα 5.43
Ιδιότητες "Properties" ενός LED

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΟΚΙΜΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

6.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η εκτέλεση δοκιμαστικών πειραματικών μετρήσεων με σκοπό τον έλεγχο της καλής λειτουργίας και την κατ'αρχήν βαθμονόμηση της ανιχνευτικής διάταξης BERM. Παρουσιάζονται επίσης συνοπτικά οι οδηγίες χρήσης του συστήματος. Οι πειραματικές αυτές μετρήσεις έγιναν με δύο διαφορετικές υλοποιήσεις της ανιχνευτικής διάταξης BERM, το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο και το Οριστικό Πρωτότυπο σε περιβάλλοντα διαφορετικών επιπέδων συγκεντρώσεων Ραδονίου. Η ανιχνευτική διάταξη Δοκιμαστικό Πρωτότυπο χρησιμοποιήθηκε για δύο μετρήσεις συγκεντρώσεων Ραδονίου: (α) για μέτρηση διάρκειας 48 ωρών σε χώρο καθημερινής διαβίωσης (3^{ος} όροφος πολυκατοικίας), όπου οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις Ραδονίου ήταν στην περιοχή 0 – 30 Bq m⁻³ και (β) για μέτρηση διάρκειας 72 ωρών σε υπόγειο χώρο (χώρος ΥΚ5 του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας), όπου οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις Ραδονίου ήταν στην περιοχή 50 – 250 Bq m⁻³. Στο δεύτερο περιβάλλον οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα και με βαθμονομημένο εμπορικό ενεργητικό ανιχνευτή συγκεντρώσεων Ραδονίου τύπου "AlphaGUARD" της εταιρίας κατασκευής Saphymo GmbH (πρώην Genitron Instruments). Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των ταυτόχρονων μετρήσεων προέκυψε και μία ενδεικτική βαθμονόμηση του οργάνου, καθώς και ο χρόνος απόκρισης του στις μεταβολές συγκεντρώσεων Ραδονίου. Η ενδεικτική βαθμονόμηση επαληθεύθηκε σε τρίτο πείραμα σε τεχνητό περιβάλλον συγκεντρώσεων Ραδονίου σε έναν από τους θαλάμους Ραδονίου του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας με χρήση του Οριστικού Πρωτότυπου και πολύ καλά αποτελέσματα.

6.2 Οδηγίες χρήσης και ασφαλείας

Ο χειρισμός του ανιχνευτικού συστήματος BERM δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες και οι απαιτούμενες διαδικασίες για την λειτουργία του είναι πολύ απλές. Η ύπαρξη όμως υψηλής τάσης 500V μέσα στον θάλαμο ιονισμού, αλλά και η φόρτιση, με την ίδια υψηλή τάση, του πυκνωτή του τροφοδοτικού, επιβάλλει την τήρηση συγκεκριμένων οδηγιών ασφαλείας. Για την κατανόηση των παρακάτω οδηγιών χρήσης και ασφαλείας δίνεται στη φωτογραφία του Διαγράμματος 4.36 του προηγούμενου 4^{ου} Κεφαλαίου μία πλήρης εικόνα του Οριστικού Πρωτότυπου.

Πριν την έναρξη των μετρήσεων:

i. Αρχική εκφόρτιση πυκνωτή τροφοδοτικού υψηλής τάσης

Για λόγους ασφαλείας, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η εκφόρτιση του πυκνωτή του πυκνωτή του τροφοδοτικού υψηλής τάσης από τάση που έχει παραμείνει σε αυτόν λόγω προηγούμενης φόρτισης. Για την εκφόρτιση χρησιμοποιείται για περίπου 10 sec ο διακόπτης θέσεως "Εκφόρτιση" που φαίνεται στην φωτογραφία του Διαγράμματος 4.36. Μόλις ολοκληρωθεί η εκφόρτιση, απενεργοποιείται ο διακόπτης φόρτισης.

ii. Τροφοδότηση με τάση του ηλεκτρονικού κυκλώματος

Μέσω του διακόπτη ελέγχου της τροφοδοσίας της μπαταρίας 9V (διακόπτης "BERM", βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 4.36), τροφοδοτείται το ηλεκτρονικό κύκλωμα του ανιχνευτικού συστήματος. Ο διακόπτης αυτός πρέπει να άγει καθόλο το διάστημα των μετρήσεων.

iii. Αφαίρεση εξωτερικού κελύφους θωράκισης

Ξεβιδώνοντας τον αριστερό ασφαλιστικό μεταλλικό δακτύλιο, αφαιρείται ο αριστερός κύλινδρος του εξωτερικού κελύφους θωράκισης, αποκαλύπτοντας έτσι το λευκό πώμα το οποίο σφραγίζει τον θάλαμο ιονισμού (βλ. και τη φωτογραφία του Διαγράμματος 6.1).

iv. Σύνδεση των ακροδεκτών φόρτισης του πυκνωτή C1 με το τροφοδοτικό υψηλής τάσης

Αφαιρώντας το λευκό πώμα που σφραγίζει τον θάλαμο ιονισμού του BERM, αποκαλύπτεται ο πυκνωτής υψηλής τάσης. Στον ακροδέκτη "GND" που συνδέεται με το εξωτερικό κέλυφος του θαλάμου ιονισμού συνδέεται το μαύρο "κροκοδειλάκι" της τροφοδοσίας υψηλής τάσης. Στον ακροδέκτη του πυκνωτή "HV", ο οποίος είναι συγκολλημένος στον εσωτερικό μανδύα του θαλάμου ιονισμού συνδέεται το λευκό "κροκοδειλάκι" της τροφοδοσίας υψηλής τάσης, όπως φαίνεται στην φωτογραφία του Διαγράμματος 6.2.

v. Φόρτιση πυκνωτή C1

Έχοντας ελέγξει την σωστή σύνδεση του τροφοδοτικού υψηλής τάσης με τον πυκνωτή C1, ενεργοποιείται ο διακόπτης "Φόρτιση", που βρίσκεται αριστερά από τον διακόπτη "Εκφόρτιση", όπως διακρίνεται στο σχήμα του Διαγράμματος 4.36. Η φόρτιση ολοκληρώνεται όταν ανάψει το κόκκινο ενδεικτικό LED (το "πάνω" LED) που είναι συνδεδεμένο με το τροφοδοτικό υψηλής τάσης και λειτουργεί με τρόπο που αποδόθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο.

vi. Αποσύνδεση τροφοδοτικού υψηλής τάσης

Μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης, αφαιρούνται με εξαιρετική προσοχή τα κροκοδειλάκια από τους ακροδέκτες του πυκνωτή υψηλής τάσης. Ο πυκνωτής τότε είναι φορτισμένος στα 500V, ενώ εξαιτίας της φόρτισης αυτής στο

εσωτερικό του θαλάμου ιονισμού θα υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο 500V. Συνιστάται, ο χρήστης να αποφύγει την επαφή με οποιαδήποτε μεταλλική επιφάνεια εντός του θαλάμου, ώστε να μην πάθει μικρή ηλεκτροπληξία. Σε περίπτωση που κατά την αποσύνδεση των ακροδεκτών παρατηρηθεί σπινθηρισμός, θα πρέπει να υποθεθεί ότι ο πυκνωτής εκφορτίστηκε και συνεπώς πρέπει να επαναληφθεί η φόρτιση από το βήμα i.

vii. Τελική εκφόρτιση πυκνωτή τροφοδοτικού υψηλής τάσης

Όπως στο βήμα i.

viii. Ασφάλιση ακροδεκτών τροφοδοτικού υψηλής τάσης

Έχοντας ολοκληρώσει την φόρτιση του πυκνωτή C1 του θαλάμου ιονισμού και την εκφόρτιση του τροφοδοτικού υψηλής τάσης, συνιστάται οι ακροδέκτες του υπόψιν τροφοδοτικού να ασφαρίζονται έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας ή βραχυκυκλώματός τους και ενδεχόμενης καταστροφής του τροφοδοτικού (βλ. και τη φωτογραφία του Διαγράμματος 6.3).

ix. Επανατοποθέτηση εξωτερικού κελύφους θωράκισης

Επανατοποθετείται στο ανιχνευτικό σύστημα ο αριστερός κύλινδρος που είχε αφαιρεθεί, σφραγίζοντάς πάλι το εξωτερικό κέλυφος. Για την ασφάλισή του, συσφίγγεται ο μεταλλικός ασφαλιστικός δακτύλιος που το συγκρατεί (βλ. και τη φωτογραφία του Διαγράμματος 6.4).

x. Αναμονή σταθεροποίησης λειτουργίας. Όπως έχει αναφερθεί σε πολλά σημεία στο 2^ο, 3^ο και 4^ο Κεφάλαιο, για την σταθεροποίηση της λειτουργίας του κυκλώματος του ανιχνευτικού συστήματος BERM απαιτείται αναμονή 5 έως 10 λεπτών.

Για τη μέτρηση:

xi. Σύνδεση USB. Συνδέεται σε Η/Υ, το καλώδιο USB που έρχεται από την κάρτα ήχου που παραλαμβάνει τα ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν σε ιονισμούς στον ανιχνευτή BERM, με τρόπο που περιγράφηκε στο 5^ο Κεφάλαιο.

xii. Εκτέλεση εικονικού οργάνου. Στον Η/Υ που έχει συνδεθεί το USB καλώδιο του BERM, εκτελείται το εικονικό όργανο "NTUA_BERM.VI". Αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν στον Η/Υ υπάρχει εγκατεστημένη συμβατή έκδοση LabVIEW.

xiii. Ρύθμιση παραμέτρων εικονικού οργάνου. Από το παράθυρο της πρόσοψης του εικονικού οργάνου "NTUA_BERM.VI" ρυθμίζονται οι παράμετροι της μέτρησης. Αυτές είναι: (α) η επιλογή της πηγής σημάτων (πρωτεύουσα ή δευτερεύουσα κάρτα ήχου), (β) η χρονική διάρκεια της μέτρησης, (γ) η λειτουργία παραγωγής ήχου για κάθε καταγραφή, και (δ) το ύψος του κατωφλίου τάσης.

xiv. Έναρξη μετρήσεων. Μόλις ολοκληρωθεί η ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του εικονικού οργάνου "NTUA_BERM.VI", επιλέγεται η έναρξη των μετρήσεων, από την επιλογή "RUN" του εικονικού οργάνου.

xv. Τέλος μετρήσεων. Οι μετρήσεις ολοκληρώνονται είτε με την πάροδο του προεπιλεγμένου χρονικού διαστήματος είτε με διακοπή της μέτρησης από τον χρήστη (κουμπί "STOP" του εικονικού οργάνου). Και στις δύο περιπτώσεις, τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα των μετρήσεων έχουν αποθηκευτεί στο σχετικό αρχείο "*.TXT" που βρίσκεται στον φάκελο "DATA_LOG".

6.3 Πειράματα με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο

6.3.1 Πείραμα σε χώρο κατοικίας

Σε διαμέρισμα πολυκατοικίας 3^{ου} ορόφου¹, εκτελέστηκε μέτρηση συγκέντρωσης Ραδονίου για 48 ώρες. Το γράφημα του Διαγράμματος 6.5 δείχνει τα αποτελέσματα μετρηθέντων ιονισμών ανά 10 λεπτά σε συνάρτηση με το χρόνο σε λεπτά. Όπως έχει αναφερθεί και στο 1^ο Κεφάλαιο ένας υπέργειος χώρος κατοικίας αναμένεται να έχει χαμηλότερη συγκέντρωση Ραδονίου από οποιοδήποτε υπόγειο χώρο. Τυπικές τιμές για την συγκέντρωση Ραδονίου εντός κατοικίας στο επίπεδο του εδάφους μπορεί να είναι στην περιοχή από 100 Bq/m³ έως και 400 Bq/m³, αν η κατοικία δεν είναι κατασκευασμένη σε κάποια από τις "ραδονιόπληκτες" (radon-prone) περιοχές του πλανήτη μας. Η απόσταση ενός χώρου κατοικίας από το επίπεδο του εδάφους συμβάλλει στην μείωση των συγκεντρώσεων Ραδονίου μέχρι ενός βαθμού, αφού μετά αναδεικνύονται άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση, όπως π.χ. ο τρόπος και τα υλικά κατασκευής του κτιρίου και ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μέτρηση έγινε άνοιξη (Μάιος 2010), γίνεται κατανοητό ότι ο αερισμός του διαμερίσματος του πειράματος ήταν συχνότερος από ότι την χειμερινή περίοδο. Σε τέτοιους καλά αεριζόμενους χώρους, η συγκέντρωση Ραδονίου τείνει να πλησιάζει αυτή των ανοικτών χώρων, παίρνοντας τυπικές τιμές μεταξύ 10 - 20 Bq/m³.

6.3.2 Πείραμα σε υπόγειο χώρο

Η επόμενη μέτρηση συγκέντρωσης Ραδονίου με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο, ήταν διάρκειας 72 ωρών και πραγματοποιήθηκε στον υπόγειο χώρο ΥΚ5 του του κτιρίου Κ του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Ο χώρος ΥΚ5 διαθέτει πολλούς αγωγούς εξαερισμού, διότι έχει σχεδιασθεί με πρόβλεψη την αποφυγή υψηλών συγκεντρώσεων Ραδονίου. Μάλιστα ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα στον χώρο αυτό μπορεί να φθάσει μέχρι και 5 την ώρα με τη λειτουργία των κατάλληλων ανεμιστήρων εξαερισμού. Για να γίνει δυνατή η χρήση του υπογείου αυτού χώρου

¹ Χώρος κατοικίας του γράφοντος

ως "τυπικό υπόγειο", στο οποίο αναμένονται γενικά αυξημένες συγκεντρώσεις Ραδονίου στην περιοχή $50 - 250 \text{ Bq m}^{-3}$, οι αγωγοί εξαερισμού απομονώθηκαν είτε κλείνοντας τις αντίστοιχες θυρίδες, είτε με άλλο απλό τρόπο, όπως κάλυψη με πλαστικές σακούλες (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 6.6). Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα και με βαθμονομημένο εμπορικό ενεργητικό ανιχνευτή συγκεντρώσεων Ραδονίου τύπου "AlphaGUARD" της εταιρίας κατασκευής Saphymo GmbH (πρώην "Genitron Instruments"). Το όργανο αυτό αποτελεί μία υψηλής τεχνολογίας συσκευή παρακολούθησης συγκεντρώσεων Ραδονίου, που επίσης βασίζεται στην αρχή του θαλάμου ιονισμού. Ο συντελεστής βαθμονόμησης του AlphaGUARD εκτιμάται ίσος με 5 CPM ανά 100 Bq m^{-3} , με γραμμική απόκριση στην περιοχή από 2 έως 2.000.000 Bq m^{-3} . Το AlphaGUARD επίσης διαθέτει δυνατότητα σειριακής σύνδεσης με Η/Υ μέσω πρωτοκόλλου RS-232 και γραφικό περιβάλλον συλλογής και παρουσίασης πειραματικών αποτελεσμάτων. Το πείραμα με τα δύο όργανα πραγματοποιήθηκε με κλειστές όλες τις θύρες που οδηγούν στον υπόγειο χώρο ΥΚ5. Η θέση των οργάνων όπως τοποθετήθηκαν στο χώρο ΥΚ5 διακρίνεται στη φωτογραφία του Διαγράμματος 6.7. Το γράφημα του Διαγράμματος 6.8 δείχνει τα αποτελέσματα μετρηθέντων ιονισμών ανά 10 λεπτά σε συνάρτηση με το χρόνο σε λεπτά για την ανιχνευτική διάταξη BERM. Το γράφημα του Διαγράμματος 6.9 δείχνει τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης Ραδονίου ανά 10 λεπτά σε συνάρτηση με το χρόνο σε λεπτά με το ανιχνευτικό σύστημα AlphaGUARD.

6.4 Ενδεικτική βαθμονόμηση του Δοκιμαστικού Πρωτότυπου

6.4.1 Συντελεστής βαθμονόμησης και χρόνος ολοκλήρωσης

Με απλή παρατήρηση και σύγκριση των γραφημάτων από τα Διαγράμματα 6.8 και 6.9 γίνεται κατανοητό ότι τόσο η ανιχνευτική διάταξη BERM όσο και το όργανο AlphaGUARD παρακολουθούν αυξήσεις και μειώσεις στη συγκέντρωση του Ραδονίου στον χώρο ΥΚ5 με τον ίδιο τρόπο, πράγμα που είναι πολύ ενθαρρυντικό και βεβαιώνει για την καλή ποιότητα της κατασκευής. Όπως φαίνεται, η βαθμονόμηση της ανιχνευτικής διάταξης BERM μπορεί κατ'αρχήν να γίνει εμμέσως με απευθείας σύγκριση των ιονισμών ανά 10 λεπτό από το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο προς τις αντίστοιχες τιμές συγκέντρωσης Ραδονίου που κατέγραψε το όργανο AlphaGUARD δεδομένου ότι και για τις δύο ανιχνευτικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν υπήρξε κοινή αρχή και κοινό τέλος μετρήσεων καθώς και κοινό διάστημα ολοκλήρωσης (ανά 10 λεπτά). Με χρήση λογιστικού φύλλου υπολογίστηκε ότι ο συντελεστής βαθμονόμησης της ανιχνευτικής διάταξης BERM έχει τιμή:

$$6.0 \pm 2.5 \frac{\text{Bqm}^{-3}}{\text{Counts/10min}}$$

Η τιμή αυτή είναι μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τον συντελεστή βαθμονόμησης του οργάνου AlphaGUARD, πράγμα που δείχνει την καλή ευαισθησία και ακρίβεια του επαγγελματικού εξοπλισμού. Από την άλλη, για το κόστος κατασκευής που χρησιμοποιήθηκε για την ανιχνευτική διάταξη BERM η ευαισθησία που προκύπτει είναι απόλυτα ικανοποιητική. Οπωσδήποτε, και οι τιμές που δίνει το όργανο AlphaGUARD και εκείνες που δίνει η ανιχνευτική διάταξη BERM εμπεριέχουν σημαντικό ποσοστιαίο σφάλμα Poisson, διότι οι συγκεντρώσεις Ραδονίου που μετρούνται είναι χαμηλές. Για τον λόγο αυτό, παρατηρείται ότι ο συντελεστής βαθμονόμησης που προσδιορίστηκε κατ'αρχήν έχει σημαντικό σφάλμα και πρέπει να διερευνηθεί πώς μπορεί αυτό να μειωθεί. Δεδομένου ότι δεν είναι δυνατόν να μεταβληθούν ουσιαστικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανιχνευτικής διάταξης BERM για να εξυπηρετηθεί η μείωση του σφάλματος του συντελεστή βαθμονόμησης, αναζητήθηκε ο βέλτιστος χρόνος ολοκλήρωσης του BERM για τον οποίο το σφάλμα της βαθμονόμησης είναι μειωμένο. Για τον σκοπό αυτό σε λογιστικά φύλλα έγινε η σύγκριση των συγκεντρώσεων που μετράει το όργανο AlphaGUARD με τους παλμούς ιονισμού ανά 10 λεπτά που μετράει το BERM για τις εξής περιπτώσεις: (1) κάθε ζευγάρι συγκρινόμενων μετρήσεων είναι μέσος όρος 2 προηγούμενων = χρόνος ολοκλήρωσης 20 λεπτά, (2) κάθε ζευγάρι συγκρινόμενων μετρήσεων είναι μέσος όρος 3 προηγούμενων = χρόνος ολοκλήρωσης 30 λεπτά, (3) κάθε ζευγάρι συγκρινόμενων μετρήσεων είναι μέσος όρος 4 προηγούμενων = χρόνος ολοκλήρωσης 40 λεπτά, και μέχρι χρόνο ολοκλήρωσης 100 λεπτά. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα αυτής της διερεύνησης. Παρατηρείται ότι το σφάλμα του συντελεστή βαθμονόμησης μειώνεται με την αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης και από κάποιο χρόνο και πάνω παραμένει σταθερό περί το 10-13%. Επιπλέον, όταν ο χρόνος ολοκλήρωσης φτάσει τα 100 min παρατηρείται και αύξηση του συντελεστή βαθμονόμησης (δηλαδή μείωση της ευαισθησίας του οργάνου). Επομένως, με βάση τα αποτελέσματα αυτά αποφασίζεται ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης της ανιχνευτικής διάταξης BERM στα 60 min και ο αντίστοιχος συντελεστής βαθμονόμησης να είναι ο:

$$5.7 \pm 0.7 \frac{\text{Bqm}^{-3}}{\text{Counts/10min}}$$

Η μείωση της ευαισθησίας του BERM που παρατηρείται για μεγάλους χρόνους ολοκλήρωσης οφείλεται στο ότι για τόσο μεγάλους χρόνους η ανιχνευτική αυτή διάταξη προφανώς δεν μπορεί να παρακολουθήσει τις μεταβολές της συγκέντρωσης

Ραδονίου που συμβαίνουν στον επιτηρούμενο χώρο και αρχίζει να ολοκληρώνει. Η τιμή του συντελεστή βαθμονόμησης όπως προσδιορίστηκε προηγούμενα για χρόνο ολοκλήρωσης 60min ελέγχεται περαιτέρω χρησιμοποιώντας τον δείκτη "μέση τετραγωνική απόκλιση" ή αλλιώς RMS, με τον οποίο μπορούν να συγκριθούν οι μετρήσεις συγκέντρωσης με το όργανο AlphaGUARD με τις μετρήσεις συγκέντρωσης με την ανιχνευτική διάταξη BERM. Ο δείκτης αυτός δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$RMS=100\sqrt{\frac{1}{n-2}\sum\frac{(C_{AG}-C_{BERM})^2}{C_{BERM}^2}}(\%)$$

όπου

C η συγκέντρωση Ραδονίου σε Bqm⁻³

AG δείκτης που ορίζει ότι η συγκέντρωση μετρήθηκε με το AlphaGUARD

BERM δείκτης που ορίζει ότι η συγκέντρωση μετρήθηκε με το BERM

n το πλήθος των μετρήσεων συγκέντρωσης

Ο Πίνακας 6.2 συνοψίζει τα αποτελέσματα επεξεργασίας με λογιστικά φύλλα των μετρήσεων που παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 6.8 και 6.9 για τον δείκτη αυτόν για διάφορους χρόνους ολοκλήρωσης, για τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές βαθμονόμησης για την ανιχνευτική διάταξη BERM, που δίνονται στον Πίνακα 6.1. Παρατηρείται ότι ο δείκτης RMS σταθεροποιείται στην περιοχή 10-13% μετά από χρόνο ολοκλήρωσης 60min, επιβεβαιώνοντας με δεύτερη μέθοδο την εκτίμηση για τον ορθό χρόνο ολοκλήρωσης.

Εφαρμόζοντας την πιο πάνω τιμή του συντελεστή βαθμονόμησης στις πρωτογενείς πειραματικές τιμές του Διαγράμματος 6.8, λαμβάνεται το Διάγραμμα 6.10, το οποίο αποδίδει τις συγκεντρώσεις Ραδονίου που μετρήθηκαν με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο κατά το 2^ο πείραμα. Στο Διάγραμμα 6.10, δεν έχει εφαρμοσθεί επεξεργασία με βάση τον υπολογισμένο χρόνο ολοκλήρωσης των 60 min, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει απευθείας η σύγκρισή του με το Διάγραμμα 6.9 που προέκυψε από τις αντίστοιχες μετρήσεις με το AlphaGUARD. Από την υπόψιν σύγκριση παρατηρείται και οπτικά πολύ ικανοποιητική συμφωνία, το μέτρο της οποίας δίνεται από τον δείκτη RMS που υπολογίσθηκε. Έντονες τοπικές διαφορές παρουσιάζονται μόνο και μόνο διότι δεν πραγματοποιήθηκε η εξομάλυνση των 60min.

6.4.2 Εφαρμογή βαθμονόμησης

Εφαρμόζοντας την τιμή του συντελεστή βαθμονόμησης

$$5.7 \pm 0.7 \frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{Counts/10min}}$$

στις πρωτογενείς πειραματικές τιμές του Διαγράμματος 6.5, λαμβάνεται το Διάγραμμα 6.11 το οποίο αποδίδει τις συγκεντρώσεις Ραδονίου που μετρήθηκαν με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο κατά το 1^ο πείραμα. Δεν εφαρμόστηκε ούτε εδώ ο χρόνος ολοκλήρωσης των 60min. Σε σύγκριση με το Διάγραμμα 6.5, έχουν αφαιρεθεί δύο – τρία πειραματικά σημεία, τα οποία διαπιστωμένα οφείλονται σε κραδασμούς και ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Επειδή η συγκέντρωση Ραδονίου για αυτό το πείραμα στον σχετικά καλά αεριζόμενο χώρο της κατοικίας στην οποία πραγματοποιήθηκε, μπορεί να θεωρηθεί σταθερή, εκτιμάται ότι με την εφαρμογή αυτού του συντελεστή βαθμονόμησης η συγκέντρωση Ραδονίου του χώρου είναι $18 \pm 10 \text{ Bq m}^{-3}$, τιμή και διακύμανση οι οποίες αναμένονται. Επιβεβαιώνεται επομένως και με αυτόν τον τρόπο η ικανοποιητικά καλή λειτουργία της ανιχνευτικής διάταξης BERM.

6.5 Πείραμα με το Οριστικό Πρωτότυπο

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο, πραγματοποιήθηκε και ένα πείραμα μετρήσεως βαθμονομημένης συγκέντρωσης Ραδονίου με χρήση του Οριστικού Πρωτοτύπου. Για τον σκοπό αυτό το Οριστικό Πρωτότυπο τοποθετήθηκε μαζί με το όργανο AlphaGUARD μέσα στον μικρό θάλαμο Ραδονίου του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας χωρητικότητας 1.9 m^3 (βλ. και την ακολουθία των φωτογραφιών του Διαγράμματος 6.12). Η σύνδεση του Οριστικού Πρωτοτύπου με Η/Υ για την εξασφάλιση της καταγραφής των παλμών ιονισμού έγινε με κατάλληλο USB καλώδιο, το οποίο οδηγήθηκε στο εξωτερικό του θαλάμου μέσω ανοίγματος $\frac{3}{4}$ ". Το άνοιγμα μονώθηκε από το εξωτερικό περιβάλλον με ένα μικρό στρώμα σιλικόνης (βλ. και φωτογραφία του Διαγράμματος 6.13). Στο μικρό θάλαμο εξασφαλίστηκε βαθμονομημένη συγκέντρωση Ραδονίου με αρχική τιμή 2000 Bq m^{-3} με τρόπο που περιγράφεται στην Διπλωματική Εργασία του Μαρινάκη (2007). Το όργανο AlphaGUARD και το Οριστικό Πρωτότυπο παρέμειναν στον θάλαμο επί περίπου 48 ώρες, κατά την διάρκεια των οποίων η αρχική αυτή συγκέντρωση Ραδονίου αφέθηκε να απομειωθεί λόγω ραδιενεργής διάσπασης. Υπενθυμίζεται ότι ο χρόνος ημιζωής του Ραδονίου είναι 3.8 ημέρες. Το Διάγραμμα 6.14 αποδίδει την μεταβολή της συγκέντρωσης του Ραδονίου όπως μετρήθηκε με το όργανο AlphaGUARD, ενώ το Διάγραμμα 6.15 αποδίδει τους παλμούς ιονισμού ανά 10 λεπτά όπως μετρήθηκαν από την ανιχνευτική διάταξη BERM. Παρατηρείται ότι η ανιχνευτική διάταξη BERM παρακολουθεί ικανοποιητικά το φαινόμενο ραδιενεργού απομείωσης και συγκέντρωσης του Ραδονίου στο θάλαμο με τρόπο εντελώς ανάλογο με εκείνον

που το κάνει το όργανο AlphaGUARD. Από την χονδρική παρατήρηση των δύο αυτών Διαγραμμάτων προκύπτει επίσης ότι ο συντελεστής βαθμονόμησης της ανιχνευτικής διάταξης BERM του Οριστικού Πρωτοτύπου φαίνεται να είναι κοντά στον συντελεστή βαθμονόμησης του Δοκιμαστικού Πρωτοτύπου. Δεδομένου ότι το Οριστικό Πρωτότυπο είναι μια ποιοτικότερη εξέλιξη του Δοκιμαστικού Πρωτοτύπου, ο συντελεστής βαθμονόμησης του μπορεί να μην είναι ακριβώς ίδιος. Για τον ακριβή προσδιορισμό του συντελεστή βαθμονόμησης και του χρόνου ολοκλήρωσης του Οριστικού Πρωτοτύπου ακολουθήθηκε και εδώ η διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.4. Βρέθηκε ότι και σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος ολοκλήρωσης είναι επίσης 60min ενώ ο συντελεστής βαθμονόμησης έχει την τιμή

$$5.5 \pm 0.6 \frac{\text{Bqm}^{-3}}{\text{Counts/10min}}$$

Διαπιστώθηκε επομένως, στο πείραμα με το Οριστικό Πρωτότυπο, ότι γενικά θάλαμοι ιονισμού αυτής της γεωμετρίας, με τα ίδια βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα παρουσιάζουν γραμμική συμπεριφορά σε εύρη συγκεντρώσεων Ραδονίου που διαφέρουν τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους. Επίσης, παρουσιάζουν τον ίδιο χρόνο ολοκλήρωσης. Στο Διάγραμμα 6.16 διακρίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του Διαγράμματος 6.15 με εφαρμογή του πιο πάνω συντελεστή βαθμονόμησης. Παρατηρείται εξαιρετική συμφωνία. Διαπιστώνεται διαπιστώνεται πάντως διαφορά στον χρόνο απόκρισης μεταξύ του θαλάμου ιονισμού BERM και του AlphaGUARD. Ο BERM "καταλαβαίνει" ότι η συγκέντρωση στον θάλαμο μεταβλήθηκε από εκείνη του περιβάλλοντος (τάξεως Bqm^{-3}) σε αυτήν που εισήχθηκε (τάξεως kBqm^{-3}) σε χρονικό διάστημα περίπου 250min. Το όργανο AlphaGUARD διαπιστώνει την ίδια μεταβολή σε χρόνο περίπου 40min. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε κακές συνθήκες διάχυσης του Ραδονίου προς τον θάλαμο BERM. Πράγματι, ο θάλαμος ιονισμού του AlphaGUARD είναι έτσι φτιαγμένος, ώστε μια από τις βάσεις του αντίστοιχου κυλίνδρου να είναι εντελώς ανοικτή στο περιβάλλον, και δεν παρουσιάζει κανένα άλλον άνοιγμα επικοινωνίας με την ατμόσφαιρα, πράγμα που δεν συμβαίνει στην περίπτωση του θαλάμου ιονισμού BERM. Βέβαια, η εντελώς ανοικτή βάση του AlphaGUARD καλύπτεται με χάρτινο φίλτρο, το οποίο χρειάζεται να υπάρχει γενικά στα όργανα μέτρησης συγκεντρώσεων Ραδονίου για λόγους που θα εξηγηθούν στην επόμενη παράγραφο.

6.6 Σχόλια και Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τα προηγούμενα, ο σχεδιασμός και η κατασκευή της ανιχνευτικής διάταξης BERM στα πλαίσια της παρούσα Διπλωματικής Εργασίας ήταν επιτυχής. Αυτό δεν σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή ήταν αποτέλεσμα μίας και μόνης προσπάθειας. Για να κατασκευαστεί το πρώτο επιτυχές Δοκιμαστικό

Πρωτότυπο έγιναν δύο-τρεις άλλες δοκιμές τόσο για το ηλεκτρονικό κύκλωμα, όσο και για την γεωμετρία και την θωράκιση του θαλάμου ιονισμού. Επομένως, δεν είναι αυτονόητο ότι μια τέτοια κατασκευή, όπως περιγράφεται, θα αποδώσει άμεσα. Για οδηγίες αντιμετώπισης προβλημάτων με την κατασκευή αυτή, εκτός από τα όσα αναφέρονται στα προηγούμενα Κεφάλαια, μπορεί κανείς να καταφύγει και στις πρωτότυπες συμβουλές του Neher (1994a,b,c). Το σφάλμα των μετρήσεων που γίνονται με την ανιχνευτική διάταξη BERM, όπως εκφράζεται στο επίπεδο "1σ" στην αβεβαιότητα του συντελεστή βαθμονόμησης, οφείλεται στο σφάλμα Poisson και σε μη ελεγχόμενα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του θαλάμου ιονισμού τα οποία πιθανόν να μεταβάλλονται διότι όπως αναφέρεται, για την εκκίνηση της διάταξης ο θάλαμος πρέπει να ανοίξει και να κλείσει. Σημαντικό ρόλο μπορεί να παίζουν επίσης τυχόν δονήσεις που μεταφέρονται από το περιβάλλον στην ανιχνευτική διάταξη (στο σύρμα της ανόδου). Για τον λόγο αυτό προτείνεται η τοποθέτηση της πάνω σε σταθερή επιφάνεια. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση του θαλάμου ιονισμού του BERM σε ισχυρή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ως εκ τούτου, η ανιχνευτική διάταξη του BERM θα πρέπει να τοποθετηθεί μακριά από κινητά τηλέφωνα, ασύρματα modem (Wifi, Bluetooth κλπ), εκπομπούς RF και φούρνους μικροκυμάτων.

Σημειώνεται ότι η είσοδος του Ραδονίου στους χώρους ανίχνευσης ενεργητικών ανιχνευτών γίνεται με διάχυση από τον αέρα του περιβάλλοντος. Κατά κανόνα, οι μετρήσεις συγκέντρωσης Ραδονίου που γίνονται με τους περισσότερους τέτοιους εμπορικά διαθέσιμους ανιχνευτές έχουν χρόνο ολοκλήρωσης ίσο με 10 min. Αυτό εξασφαλίζεται διότι μόνο το Ραδόνιο της ατμόσφαιρας και όχι και τα θυγατρικά του Ραδονίου που υπάρχουν σε αυτήν διαχέονται προς το ανιχνευτικό σύστημα των οργάνων αυτών. Ως αποτέλεσμα, σε 10min από την είσοδο του Ραδονίου αυτού στον χώρο ανίχνευσης παράγεται ποσότητα θυγατρικού Po-218, σε ραδιενεργή ισορροπία με το Ραδόνιο. Αυτό σημαίνει ότι σε 10min, η συγκέντρωση του Po-218 στον χώρο ανίχνευσης θα είναι ίση με την συγκέντρωση του Ραδονίου στον ίδιο χώρο. Επειδή το Po-218 έχει χρόνο ημιζωής 6min, συνεπάγεται ότι η συγκέντρωση του Ραδονίου στον χώρο ανίχνευσης και άρα και στον αέρα του περιβάλλοντος, μπορεί να εκτιμηθεί από τις διασπάσεις του Po-218 και μόνο, οι οποίες είναι στην πράξη και οι μόνες που συμβαίνουν διότι η πιθανότητα διάσπασης του ίδιου του Ραδονίου είναι πολύ μικρή (ο χρόνος ημιζωής του είναι 3.8 ημέρες). Στην περίπτωση της ανιχνευτικής διάταξης BERM, λόγω τρόπου κατασκευής επιτρέπεται στον χώρο ανίχνευσης να εισέρχεται όχι μόνο το Ραδόνιο, αλλά και μέρος των θυγατρικών του από αυτά που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα τα οποία μάλιστα δεν βρίσκονται σε ραδιενεργή ισορροπία με αυτό. Ως αποτέλεσμα, μέχρι την χρονική στιγμή που ο χώρος ανίχνευσης του BERM θα μπορέσει να "ξεχάσει" την

συγκέντρωση των θυγατρικών του Ραδονίου που εισήλθαν, θα περάσει αρκετός χρόνος, ο οποίος συμβάλλει στην χαρακτηριστική αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης αυτού του τύπου ανιχνευτή στα 60min, όπως εκτιμήθηκε. Οι εμπορικά διαθέσιμοι ενεργητικοί ανιχνευτές συγκέντρωσης Ραδονίου εμποδίζουν την διάχυση θυγατρικών του Ραδονίου στους χώρους ανίχνευσης χρησιμοποιώντας συνήθως κατάλληλα τοποθετημένα χάρτινα φίλτρα με κατάλληλη διάμετρο πόρων. Στην περίπτωση του ανιχνευτικού συστήματος BERM, θα μπορούσε να γίνει το ίδιο κλείνοντας το σύνολο του θαλάμου ιονισμού μέσα σε μια χάρτινη σακούλα (π.χ. χάρτινη σακούλα μαναβικής, ή μέσα σε μια χάρτινη σακούλα ηλεκτρικής σκούπας). Η σακούλα αυτή πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε η μόνη οπή που να παρουσιάζει προς το εξωτερικό περιβάλλον να είναι οι πόροι της και κανένα άλλο άνοιγμα. Σημειώνεται πάντως ότι ο Neher (1994b) προχείρως εκτιμά το χρόνο ολοκλήρωσης της δικιάς του ολοκλήρωσης γύρω στις 2 ώρες (120min). Οπωσδήποτε ο Neher δεν θα μπορούσε να διαπιστώσει μικρότερους χρόνους ολοκλήρωσης στην διάταξή του διότι η μέθοδος καταγραφής του αριθμού των παλμών ιονισμού στην μονάδα του χρόνου που χρησιμοποιεί (π.χ. πολύμετρο, γαλβανόμετρο, ψηφιακό απαριθμητή κλπ) δεν έχει την ακρίβεια που δίνει η μέθοδος καταγραφής που χρησιμοποιείται εδώ (βλ. και στο 5^ο Κεφάλαιο).

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται από τον Neher (1994b) ο συντελεστής βαθμονόμησης της αντίστοιχης δικιάς του υλοποίησης εκτιμάται σε περίπου:

$$7.0 \pm 1.7 \frac{\text{Bqm}^{-3}}{\text{Counts/10min}}$$

Η τιμή αυτή, προέκυψε από την μετατροπή σε μονάδες SI αντίστοιχου συντελεστή που δίνεται από τον Neher (1994b) σε μονάδες Αμερικανικού συστήματος μετρήσεων. Είναι φανερό ότι οι τιμές των συντελεστών βαθμονόμησης της εδώ υλοποίησης και της υλοποίησης του Neher (1994a, b, c) είναι πάρα πολύ κοντά. Από την άλλη, εκτιμάται ότι η μικρή διαφορά τους οφείλεται σε γεωμετρικούς λόγους. Το σφάλμα του συντελεστή βαθμονόμησης της ανιχνευτικής διάταξης BERM όπως υπολογίστηκε γύρω στο 10-13% έχει τις εξής κύριες αιτίες: (α) δεν υπάρχει φίλτρο θυγατρικών, (β) η μπαταρία των 9V εξαντλείται σταδιακά, (γ) δεν είναι ακριβώς γνωστό το υπόστρωμα του ανιχνευτικού συστήματος (δ) δεν έγιναν μετρήσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις Ραδονίου ώστε να μειωθεί η αβεβαιότητα των μετρήσεων χαμηλών συγκεντρώσεων. Το σφάλμα του συντελεστή βαθμονόμησης της υλοποίησης του Neher (1994b) εκτιμάται από τον ίδιο γύρω στο 25% για αντίστοιχες χαμηλές συγκεντρώσεις Ραδονίου, και είναι υπερτιμημένο, διότι πέρα από τις πιο πάνω αιτίες, και τις διαφορετικές μεθόδους καταγραφής, αυτός δεν είχε τρόπο να το υπολογίσει ακριβώς μέσω σύγκρισης με βαθμονομημένο όργανο ή

μέτρησης βαθμονομημένης συγκέντρωσης. Τονίζεται ότι όπως και να έχει, οι συντελεστές βαθμονόμησης μιας ανιχνευτικής διάταξης BERM πρέπει να παραμένουν στην ίδια τιμή ανεξάρτητα της συγκέντρωσης Ραδονίου στην ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι ο θάλαμος ιονισμού ως τεχνική μετρήσεων παρουσιάζει γραμμική συμπεριφορά.

Όπως αναφέρθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο, για την προετοιμασία του εσωτερικού του θαλάμου ιονισμού του BERM αφαιρέθηκε το πλαστικό μικροφίλμ που χρησιμεύει για την προστασία του από οξειδωση, με σκοπό την εξασφάλιση της συνέχειας του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στον θάλαμο ιονισμού. Παρόλα αυτά, ο Neher(1994c) σημειώνει ότι η ολοκληρωτική αφαίρεση αυτού του μικροφίλμ δεν είναι απαραίτητη διότι είναι τόσο λεπτό που δεν επηρεάζει το επιθυμητό ηλεκτρικό πεδίο. Επίσης, με την πλήρη αφαίρεση του μικροφίλμ, πιθανόν με την πάροδο του χρόνου το ανιχνευτικό σύστημα BERM να παρουσιάσει προβλήματα στο ηλεκτρικό πεδίο λόγω ακριβώς της οξειδωσης της επιφάνειας του εσωτερικού του θαλάμου ιονισμού.

Το κυριότερο μειονέκτημα της ανιχνευτικής διάταξης BERM είναι η απουσία από το ηλεκτρονικό της κύκλωμα κατάλληλων ηλεκτρονικών φίλτρων ώστε να απορρίπτονται παλμοί οι οποίοι δημιουργούνται λόγω δονήσεων και ηλεκτρομαγνητικού θορύβου. Οι παλμοί αυτοί έχουν σαφώς διαφορετικό σχήμα από τους παλμούς ιονισμού που οφείλονται σε -α διασπάσεις και οι εμπορικοί ενεργητικοί ανιχνευτές συνήθως διαθέτουν τέτοια κυκλώματα. Συμπερασματικά, όμως, ο λόγος "Όφελος/Κόστος" για την ανιχνευτική διάταξη συγκέντρωσης Ραδονίου που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, κρίνεται πολύ ικανοποιητικός. Αν εξαιρέσει κανείς τις ανθρωποώρες που διατέθηκαν, το κόστος των χρησιμοποιηθέντων υλικών δεν ξεπερνάει τα 30€ ανά πρωτότυπο που κατασκευάστηκε. Το κόστος αυτό είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο ενός εμπορικά διαθέσιμου ενεργητικού ανιχνευτή Ραδονίου. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι το σημερινό κόστος ενός οργάνου AlphaGUARD μπορεί και να ξεπεράσει τα 15.000€.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΟΥ 6^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Χρόνος Ολοκλήρωσης (min)	Συντελεστής Βαθμονόμησης $\left(\frac{\text{Bqm}^{-3}}{\text{Counts/10min}} \right)$	Τυπική Απόκλιση	
10	6.0	2.5	42%
20	5.8	1.5	26%
30	5.8	1.1	19%
40	5.7	0.9	16%
50	5.7	0.8	14%
60	5.7	0.7	12%
70	5.7	0.7	12%
80	5.7	0.6	11%
90	5.7	0.6	11%
100	6.4	0.6	10%

Πίνακας 6.1

Ο συντελεστής βαθμονόμησης της ανιχνευτικής διάταξης BERM ως συνάρτηση του χρόνου ολοκλήρωσης των μετρήσεων

Χρόνος Ολοκλήρωσης (min)	RMS (%)
10	42
20	25
30	20
40	16
50	15
60	13
70	12
80	11
90	11
100	10

Πίνακας 6.2

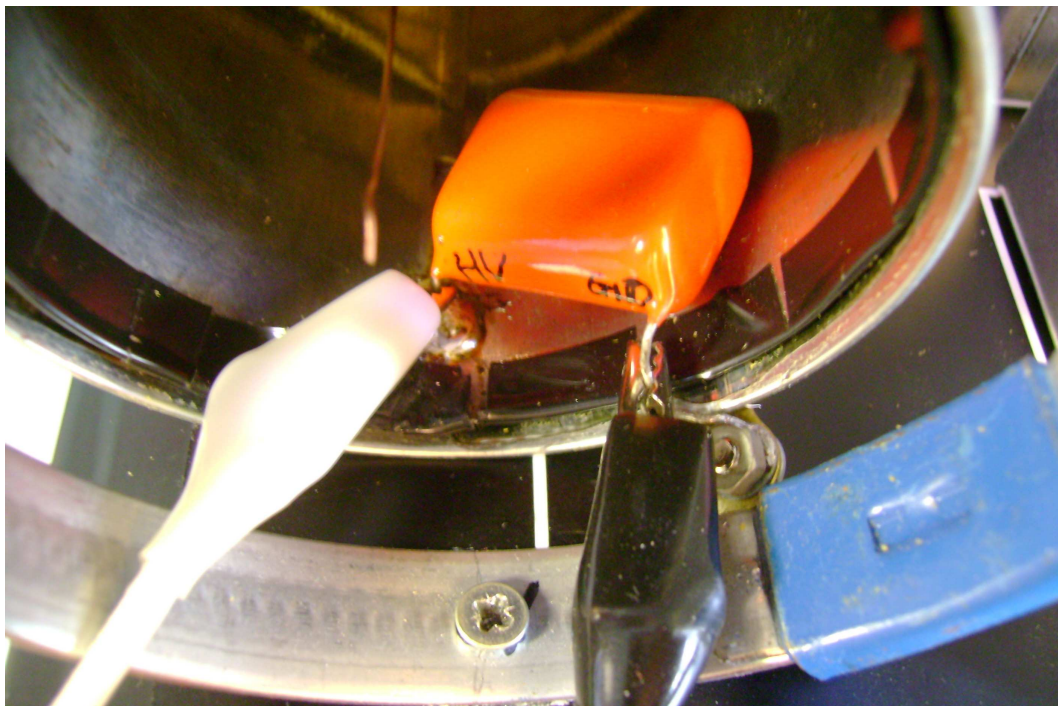
Η μέση τετραγωνική απόκλιση (%) μεταξύ των μετρήσεων του οργάνου AlphaGUARD και της ανιχνευτικής διάταξης BERM ως συνάρτηση του χρόνου ολοκλήρωσης των μετρήσεων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ 6^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



Διάγραμμα 6.1

Θάλαμος ιονισμού χωρίς τον αριστερό κύλινδρο της θωράκισης



Διάγραμμα 6.2

Σύνδεση ακροδεκτών υψηλής τάσης για φόρτιση του πυκνωτή C1



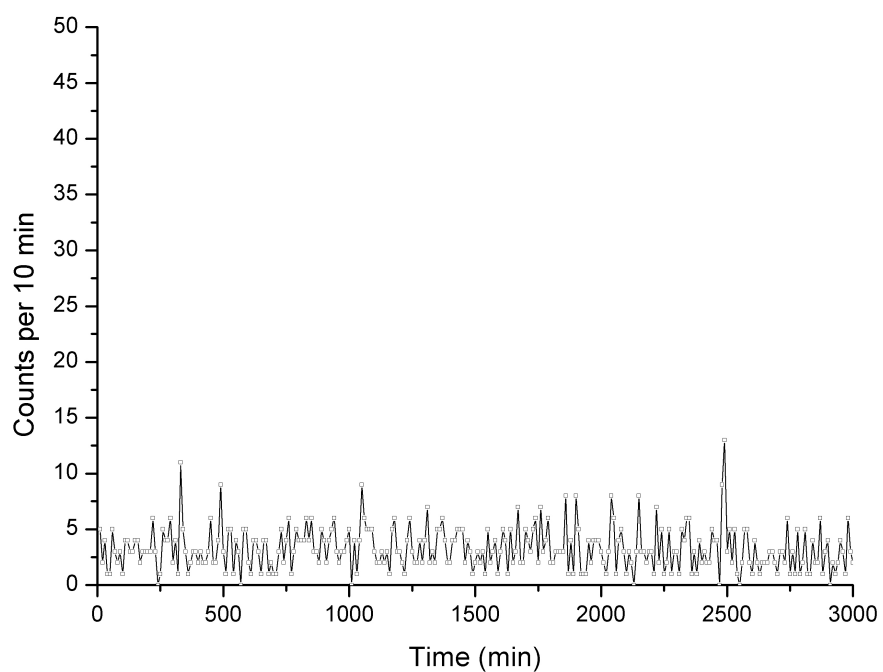
Διάγραμμα 6.3

Ασφάλιση ακροδεκτών τροφοδοσίας Υψηλής Τάσης



Διάγραμμα 6.4

Επανατοποθέτηση αριστερού κυλίνδρου θωράκισης



Διάγραμμα 6.5

**Μετρηθέντες ιονισμοί ανά 10 λεπτά στον χώρο του διαμερίσματος
3^{ου} ορόφου με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο BERM**



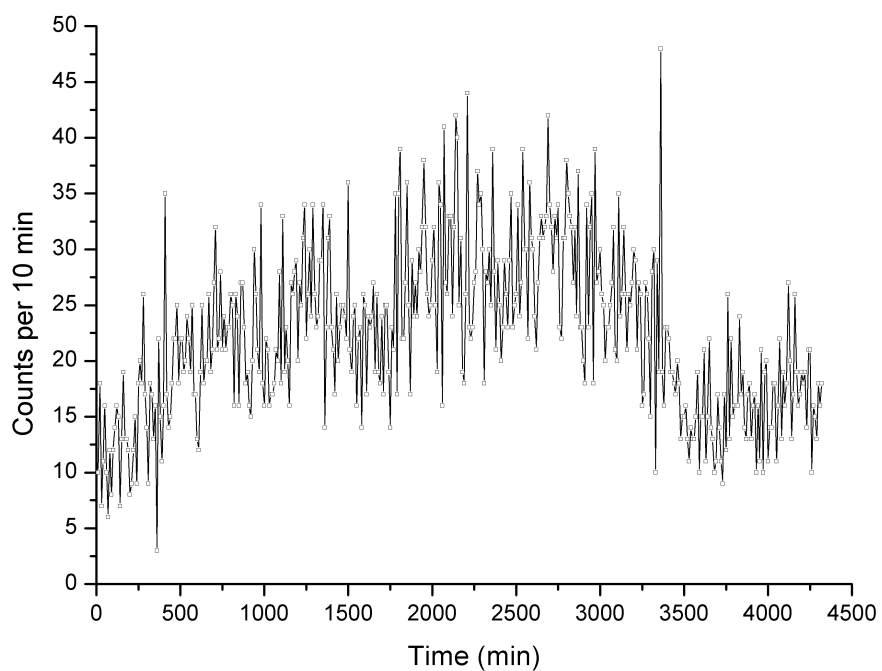
Διάγραμμα 6.6

Περιορισμοί ανανέωσης αέρα χώρου υπογείου ΥΚ5



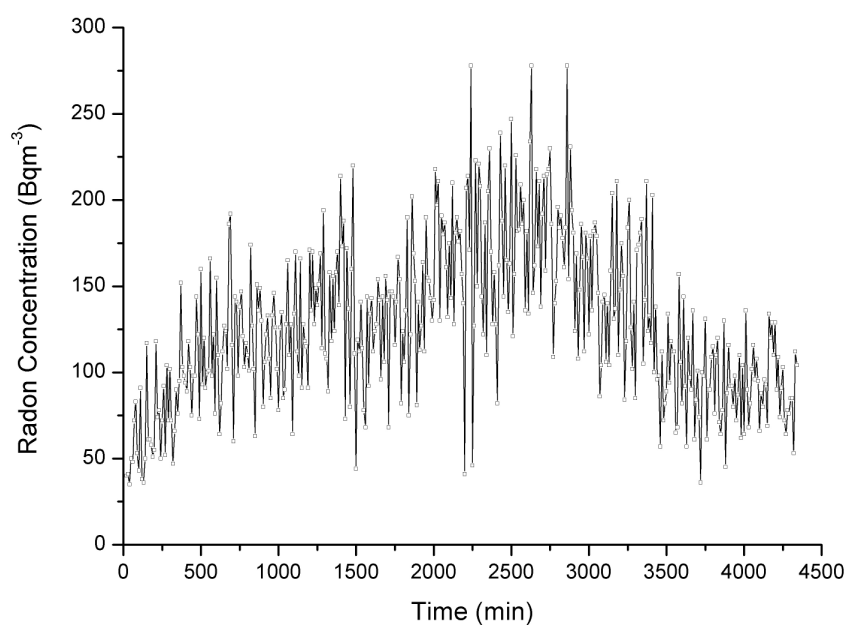
Διάγραμμα 6.7

Διάταξη μετρητικών οργάνων στον χώρο του υπογείου ΥΚ5

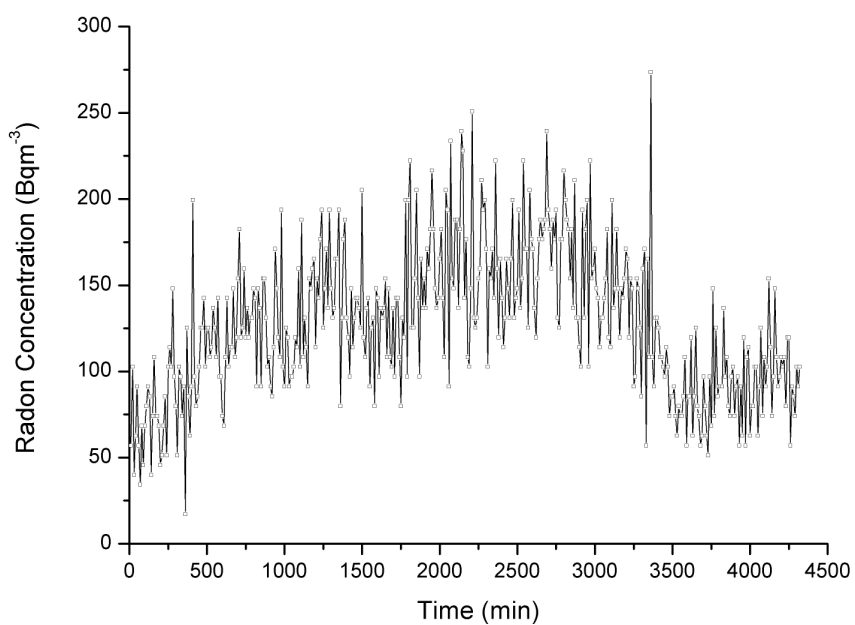


Διάγραμμα 6.8

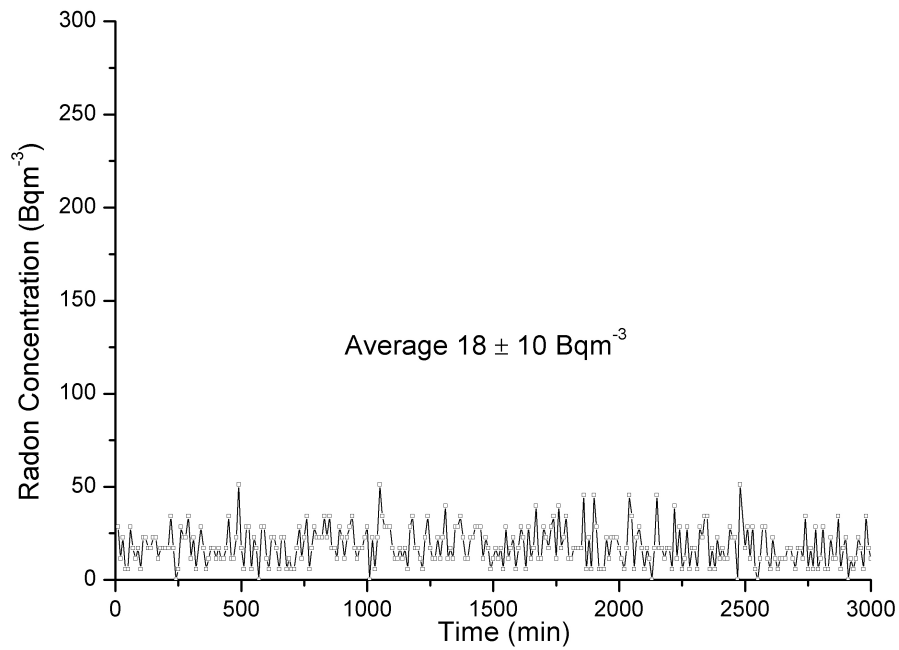
**Μετρηθέντες ιονισμοί ανά 10 λεπτά στον χώρο του υπογείου ΥΚ5
με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο BERM**



Διάγραμμα 6.9
Μέτρηση συγκέντρωσης Ραδονίου στον χώρο του υπογείου ΥΚ5
με το AlphaGUARD



Διάγραμμα 6.10
Μέτρηση συγκέντρωσης Ραδονίου στον χώρο του υπογείου ΥΚ5
με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο BERM



Διάγραμμα 6.11

**Συγκεντρώσεις Ραδονίου στον χώρο του διαμερίσματος 3^{ου} ορόφου
με το Δοκιμαστικό Πρωτότυπο BERM**



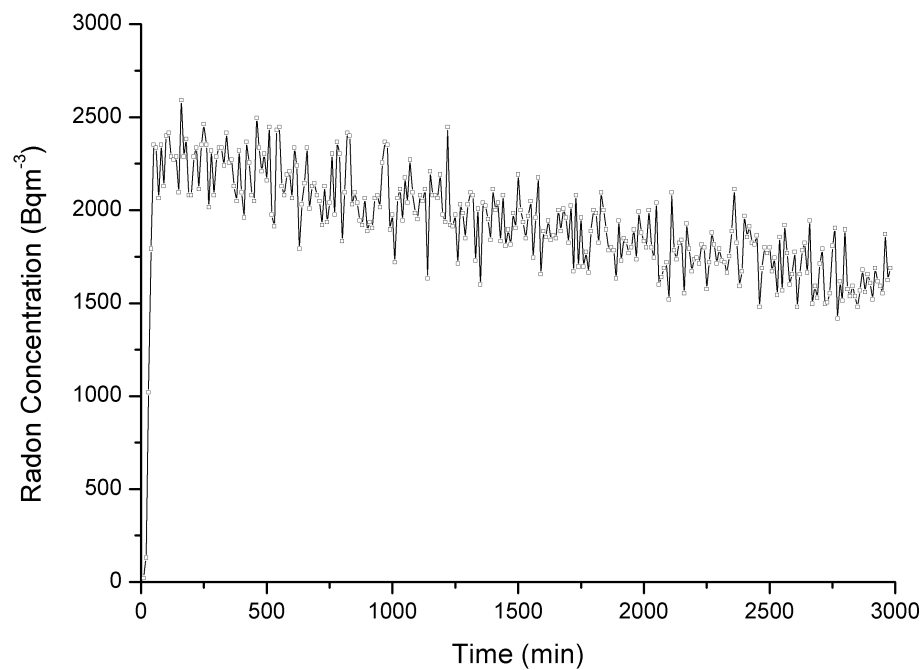
Διάγραμμα 6.12

**Θάλαμος Ραδονίου με τοποθετημένες τις μετρητικές διατάξεις
AlphaGUARD και Οριστικό Πρωτότυπο BERM**



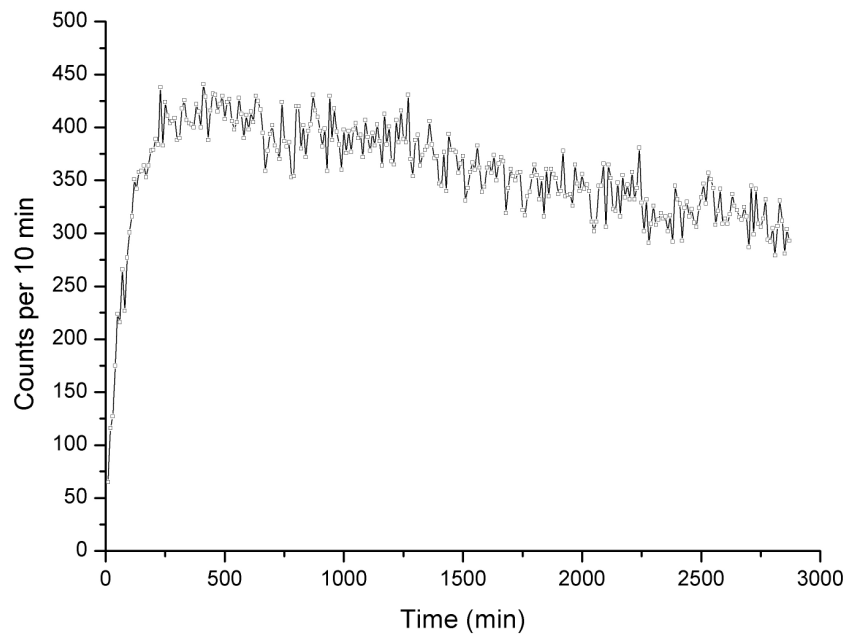
Διάγραμμα 6.13

**Έξοδος καλωδίου USB από τον θάλαμο Ραδονίου
(αριστερά: εσωτερικό του θαλάμου, δεξιά: εξωτερικό του θαλάμου)**

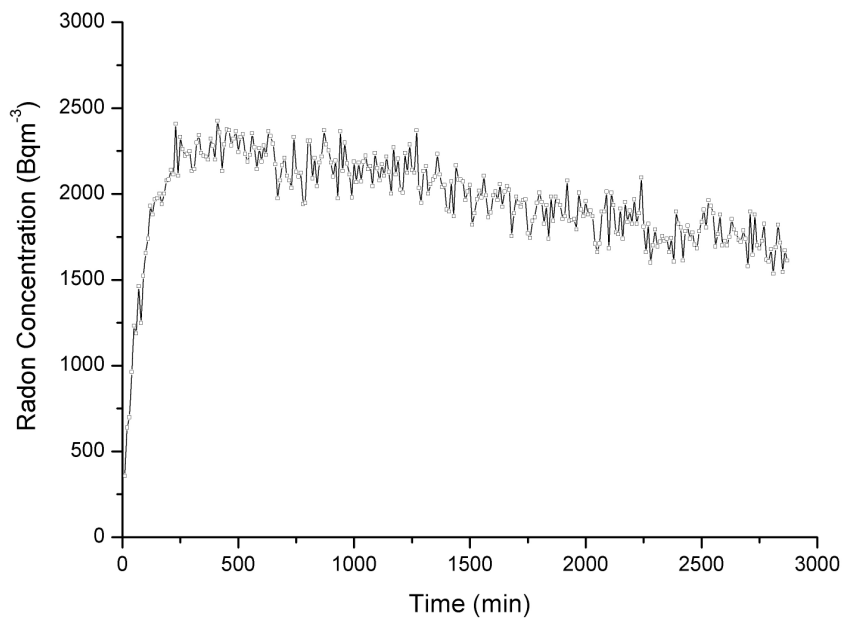


Διάγραμμα 6.14

**Μέτρηση συγκέντρωσης Ραδονίου στον θάλαμο Ραδονίου
με το AlphaGUARD**



Διάγραμμα 6.15
Μετρηθέντες παλμοί ιονισμού ανά 10 λεπτά στον θάλαμο Ραδονίου
με το Οριστικό Πρωτότυπο BERM



Διάγραμμα 6.16
Μέτρηση συγκέντρωσης Ραδονίου στον θάλαμο Ραδονίου
με το Οριστικό Πρωτότυπο BERM

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν η κατασκευή και βαθμονόμηση ενός απλού ενεργητικού ανιχνευτή συγκεντρώσεων Ραδονίου με βάση την αρχή του θαλάμου ιονισμού. Η κατασκευή στηρίχθηκε στο απλό ηλεκτρονικό κύκλωμα που δημοσιεύθηκε από τον Neher (1994a) και επιτεύχθηκε να χρησιμοποιηθούν βασικές ηλεκτρονικές αρχές, υλικά καθημερινής χρήσης, περιορισμένος αριθμός εξαρτημάτων και ηλεκτρονικών μερών, με αρκετά απλή συνδεσμολογία. Η κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος στηρίχθηκε στην αφομοίωση μερικών απλών ηλεκτρονικών αρχών και η υλοποίησή του δεν υπήρξε πολύπλοκη ούτε χρονοβόρα. Διαπιστώθηκε ότι οι σημαντικότερες παράμετροι, οι οποίες επηρεάζουν την λειτουργία του συστήματος, είναι ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος του κυκλώματος, τυχόν ρεύματα διαρροής και τυχόν ανεπιθύμητες χωρητικότητες. Ως αποτέλεσμα ο ανιχνευτής Ραδονίου που υλοποιήθηκε υπήρξε ικανοποιητικά επιτυχής και έχει πολλά από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ακριβών ενεργητικών ανιχνευτών, σε μια πολύ χαμηλότερη τιμή. Ακόμη και χωρίς ακριβή βαθμονόμηση μπορεί να παράγει σχετική ένδειξη, η οποία συγκρινόμενη με την ένδειξη στον εξωτερικό αέρα της υπαίθρου δείχνει με σαφήνεια αν υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις Ραδονίου. Επομένως μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει τον ανιχνευτή αυτόν για να εντοπίσει έναν χώρο που είναι σχετικά "χειρότερος" από άλλους από την άποψη των επιπέδων συγκέντρωσης Ραδονίου. Συμπερασματικά, ο λόγος "Όφελος/Κόστος" για την ανιχνευτική διάταξη συγκέντρωσης Ραδονίου που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, κρίνεται πολύ ικανοποιητικός. Αν εξαιρέσει κανείς τις ανθρωποώρες που διατέθηκαν, το κόστος των χρησιμοποιηθέντων υλικών δεν ξεπερνάει τα 30€ ανά πρωτότυπο που κατασκευάστηκε. Το κόστος αυτό είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο ενός εμπορικά διαθέσιμου ενεργητικού ανιχνευτή Ραδονίου. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι το σημερινό κόστος ενός οργάνου AlphaGUARD μπορεί και να ξεπεράσει τα 15.000€. Μία σημαντική συνιστώσα της προστιθέμενης αξίας της Διπλωματικής Εργασίας στο ανιχνευτικό σύστημα BERM είναι η σύνδεσή του με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του λογισμικού πακέτου LabVIEW προκειμένου για την καταγραφή των παλμών ιονισμού από το Ραδόνιο. Αυτό απλοποίησε σημαντικά την ανιχνευτική διάταξη διότι την απάλλαξε από σύνθετα ηλεκτρονικά μέρη ενός άλλου συστήματος καταγραφής (π.χ. παλμογράφος, γαλβανόμετρο, ψηφιακός απαριθμητής κλπ). Ένα δεύτερο μεγάλο πλεονέκτημα της καταγραφής των μετρήσεων μέσω LabVIEW είναι η ταυτόχρονη καταγραφή της χρονικής στιγμής κατά την οποία λήφθηκε συγκεκριμένος αριθμός παλμών ιονισμού. Αυτό επέτρεψε στον ακριβή και με μικρό σφάλμα προσδιορισμό του συντελεστή βαθμονόμησης της ανιχνευτικής διάταξης BERM καθώς και στην εκτίμηση του χρόνου

ολοκλήρωσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι κυριώς λόγω της λεπτομερούς καταγραφής τόσο το σφάλμα του συντελεστή βαθμονόμησης, όσο και ο χρόνος ολοκλήρωσης του BERM βρίσκονται στις μισές τιμές από εκείνες που δίνει για τα αντίστοιχα μεγέθη ο Neher (1994b).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελόπουλος Μ.Γ., "Πυρηνική Τεχνολογία", ΕΜΠ Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα 1983
2. Αλεξόπουλος Γ.Δ., "Μετατροπή Λογισμικού Λ/Σ UNIX System V σε Λογισμικό Λ/Σ LINUX για τη Σύνδεση Σειριακών Συσκευών μέσω Θύρας RS-232", Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα 2008
3. Cheung E., <http://www.edcheung.com/automa/radon.htm>, 1995
4. Cheung E., "Personal Communication", 2009
5. DiMauro T., <http://tonydude.net/radiationphysics/radondetectorstuff/>
6. DiMauro T., " Personal Communication ", 2009
7. Λεωνίδου Δ.Ι., "Μέθοδοι και Όργανα Ανιχνεύσεως Πυρηνικών Ακτινοβολιών", ΕΜΠ Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα 1990
8. Μαρινάκης Γ., "Βαθμονόμηση Δοχείων με Ενεργό Άνθρακα για την Μέτρηση Συγκεντρώσεων Ραδονίου σε Εσωτερικούς Χώρους", Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα 2007
9. Μπόκαρης Θ., "Προσωπική Επικοινωνία", Λέκτορας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2009
10. Neher P., "Radon Monitor", Electronics Now, January 1994a
11. Neher P., "Radon Monitor", Electronics Now, February 1994b
12. Neher P., "Radon Monitor Revisited", Electronics Now, July 1994c
13. Neher P., " Personal Communication ", 2009
14. Νικόγλου Α.Α., "Πειραματική Διερεύνηση των Ιδιοτήτων των Λεπτών Φιλμ Υγρού κατά την Ελεύθερη Ροή σε Κανάλι Πυρηνικού Αντιδραστήρα", Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα 2010